



BACHELORARBEIT

Herr
Matthias Wortmann

**4K und mehr – Die Zukunft
des hochauflösenden digitalen
Kinos am Beispiel des RED
Dragon Sensors**

Hamburg, 2014

BACHELORARBEIT

4K und mehr – Die Zukunft des hochauflösenden digitalen Kinos am Beispiel des RED Dragon Sensors

Autor:
Matthias Wortmann

Studiengang:
Film und Fernsehen

Seminargruppe:
FF09w2-B

Erstprüfer:
Prof. Christof Amrhein

Zweitprüfer:
B.Eng. / M.A. Constanze Hundt

BACHELOR THESIS

4K and beyond – The future of high resolution digital cinema on the basis of the RED Dragon sensor

author:

Matthias Wortmann

course of studies:

Film und Fernsehen

seminar group:

FF09w2-B

first examiner:

Prof. Christof Amrhein

second examiner:

B.Eng. / M.A. Constanze Hundt

Bibliografische Angaben

Wortmann, Matthias

4K und mehr – Die Zukunft des hochauflösenden digitalen Kinos am Beispiel des RED Dragon Sensors

4K and beyond – The future of high resolution digital cinema on the basis of the RED Dragon sensor

44 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2014

Abstract

4K-Auflösung, also „vierfaches HD“, ist im professionellen Kamerasegment schon relativ weit verbreitet. Die Hersteller von Unterhaltungselektronik sehen in 4K die nächste große Innovation. Kaum dass sich Full HD etabliert hat, wird es anscheinend schon wieder abgelöst. Der Kamerahersteller RED ist sogar der Meinung, dass selbst die 4K-Auflösung nicht genug sei: er brachte Ende 2013 eine 6K-fähige Kamera auf den Markt. Dabei hat sich selbst 4K bis dato noch nicht wirklich etabliert.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
1 RED und die Bedenken zur 4K-Auflösung	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Von HD zu 6K.....	1
1.3 Die „Red Digital Cinema Camera Company“	3
1.3.1 Die RED Epic	5
1.3.2 REDs Kritik an 4K-Auflösung	7
1.3.3 Upgrade: der DRAGON-Sensor	8
2 Sensortechnik	10
2.1 Der Sensor einer Kamera	10
2.2 Sensorgrößen	11
2.3 Der CMOS-Sensor.....	12
2.3.1 Der Bayer-Filter	12
2.4 Das Rohdatenformat.....	13
3 Sensortechnik	15
3.1 Das Sensor-Upgrade	15
3.1.1 Mehr Blendenumfang	15
3.1.2 Verbesserte Farbwiedergabe	16
3.2 „Highlight rolloff“	17
3.3 Das Vorbild: Analoges Film	18
3.4 Auflösung eines Sensors	18
4 Das neue Full HD: 4K.....	20
4.1 4K-fähige Abspielgeräte	20
4.2 4K-Streaming.....	21
4.3 Auflösung im Kino.....	22
4.3.1 Digitale Projektion im Kino	23
5 Die Konsequenzen von 4K+	26
5.1 Während der Produktion	26

5.2	Eine 2K-Kamera als Branchenfavorit.....	26
5.3	Der „REDCode RAW“-Codec	27
6	Der Nutzen von Auflösungen jenseits 2K.....	30
6.1	Downscaling	30
6.2	Neukadrierung durch das Plus an Auflösung	32
6.3	Simulierte „Brennweiten“ durch unterschiedliche Auflösungsmodi.....	33
6.4	Weniger Bildfehler	34
6.5	Green Screen und Special Effects.....	35
6.6	Eingeschränkte Objektivwahl bei 6K	35
7	Zur aktuellen Marktlage.....	36
7.1	4K-Kameras sind Nischenprodukte	36
7.2	Abhängigkeit von Rekorder und Player	37
8	Fazit.....	40
8.1	4K kommt zu früh.....	41
8.2	Eine Frage der Zeit.....	42
	Literaturverzeichnis.....	IX
	Quellenangaben der Abbildungen	XIII
	Eigenständigkeitserklärung.....	XV

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Bsp.	Beispiel
bzw.	beziehungsweise
CES	Consumer Electronics Show
DCI	Digital Cinema Initiatives
DCP	Digital Cinema Package
dt.	Deutsch
EB	elektronische Berichterstattung
engl.	Englisch
fps.	frames per second
HD	High Definition
HFR	High Frame Rate
Kap.	Kapitel
max.	maximal
min.	mindestens
NAB	National Association of Broadcasters
perf.	Perforation (von Filmmaterial)
S.	Seite
SD	Standard Definition
sog.	Sogenannt
ugs.	umgangssprachlich
UHD	Ultra High Definition
vgl.	vergleiche
VoD	Video on Demand
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufnahme eines Prototyps vom RED Dragon Sensor,	2
Abbildung 2: Firmenlogo des Herstellers „RED DIGITAL CINEMA COMPANY".....	3
Abbildung 3: Eine „drehfertige“ Red One.....	4
Abbildung 4: „Brain“ der Red Epic-X mit Mysterium-X Sensor	6
Abbildung 5: Das modulare DSMC System der RED Epic	7
Abbildung 6: RED Dragon Upgrade auf der NAB 2013	9
Abbildung 7: Vergleich verschiedener Sensorgrößen.....	11
Abbildung 8: Schematische Darstellung des „Bayer“ Farbfilters auf dem Sensor	12
Abbildung 9: Der Blendenumfang des Dragon-Sensors	16
Abbildung 10: 4K-Projektion bietet exakt das Vierfache an Pixeln von 2K.....	24
Abbildung 11: 2K-Projektion im Kino	25
Abbildung 12: 720p Ausschnittsvergrößerung aus 5K Bild.....	32
Abbildung 13: Tabellarische Übersicht verfügbarer 4K-Kameras (11/2013).....	37
Abbildung 14: Auflösungsgrößen am Beispiel eines 4K TVs.....	38

1 RED und die Bedenken zur 4K-Auflösung

1.1 Einleitung

In der Kamerabranche werden seit Beginn der “digitalen Revolution”¹ ständig neue Kamerasysteme auf den Markt gebracht - in so hohem Intervall wie zu Zeiten von Filmkameras unvorstellbar. Der Trend zur digitalen Produktion hat den analogen Film in den letzten Jahren fast vollständig aus der Spiel- und Werbefilmwelt verdrängt. Die Hersteller überschlagen sich mit immer neuen Spezifikationen: mehr Bilder pro Sekunde, höherer Blendenumfang, höhere Auflösung.

Lange Zeit konnte man in der digitalen Fotografie ein Phänomen beobachten, das mittlerweile häufig “Pixelwahn” genannt wird: Die Hersteller übertrumpften sich gegenseitig mit einer immer höheren Auflösung ihrer Sensoren, und suggerierten durch Werbeversprechen, dass das perfekte Bild eines mit einer möglichst hohen Pixeldichte sei. Auf andere Spezifikationen wurde nur am Rande eingegangen – die Hauptsache wäre eine möglichst hohe Megapixelanzahl der Kamera. Heute sind schließlich Smartphones auf dem Markt, deren integrierte Kameras mehr Megapixel zu bieten haben als so manche “vollwertige” Digitalkamera. Dass das auf Dauer nicht funktionieren kann, und dass eine hohe Anzahl von Megapixeln nicht automatisch gleichgesetzt werden kann mit “guter Fotoqualität”, sollte aber mittlerweile bekannt sein. Man kann nicht immer mehr Pixel auf einem Sensor unterbringen, ohne ihn irgendwann auch physisch vergrößern zu müssen. Dementsprechend sind auch die Hersteller mit dieser Art von Werbestrategie heute zurückhaltender als kurz nach der Jahrtausendwende; aktuell wird stattdessen mit anderen Features geworben, deren Sinn man manchmal allerdings genauso in Frage stellen kann.

1.2 Von HD zu 6K

In der professionellen und semi-professionellen digitalenameratechnik lässt sich jedoch gerade in den Jahren 2012 und 2013 Ähnliches beobachten. Dabei geht es auf

¹ Unter dem Begriff “Digitale Revolution” versteht man in Bezug auf die Kamerabranche den Umbruch vom analogen Filmmaterial hin zur digitalen Aufzeichnung. Den Anfang machte die Fotografie, wo auch im Profisegment digitale Kameras mittlerweile der Standard sind. Auch im Filmbereich haben digitale Kinokameras die analogen Filmkameras heute fast vollständig abgelöst; den Anfang machte 2007 die erste „wirkliche“ digitale High-End-Kamera „RED One“.

dem Kameramarkt weniger um möglichst *viele* Pixel auf dem Sensor, sondern eher um die *Größe* und die *Auflösung* des Sensors. War im Jahr 2011 noch "Full HD" das absolute Nonplusultra, so sprach der Markt im Jahr 2012 nur noch von "2K"- und "4K"-Auflösung – und dem, was danach kommen mag.

Dem amerikanischen Kamerahersteller *RED* zufolge, ist beispielsweise auch 4K nicht genug; nach langer Ankündigung wurden auf der NAB 2013 in Las Vegas erstmals Kameras der *Epic*-Reihe mit REDs neuem "Dragon"-Sensor vorgestellt, der eine Auflösung von 6K bietet. Das entspricht mit 6144 horizontalen und 3160 vertikalen Pixeln einer mehr als sechsfachen Full HD-Auflösung.



Abbildung 1: Eine der ersten Aufnahmen eines Prototyps vom RED Dragon Sensor, das RED veröffentlicht hat. Der umrandete Bereich entspricht einem 1080p Ausschnitt, in Relation zum vollen 6K Bild.

Zurzeit hat kein anderer der großen Kamerahersteller wie *ARRI*, *Sony* oder *Canon* eine Kamera im Profisegment im Angebot, die eine höhere Auflösung als 4K bietet. Bei *ARRI* gibt man sich bislang mit 2K zufrieden: *ARRIs Alexa* gibt eine maximale Auflösung von 2880x2160 Pixeln aus, und trotzdem wurden "von den 84 Filmen in alle[n] Sektionen des Cannes Filmfestivals 2013 [...] über 40% mit der *ARRI ALEXA*"² gedreht. Wenn RED als relativer Neuling auf dem Markt (vgl. Kapitel 1.3) also einen Kamerasensor ankündigt, der so viel mehr Auflösung bietet, als die Kameramodelle der aktuellen Konkurrenten, dann ist es nur eine Frage der Zeit, bis der Markt reagiert.

² slashCAM: „Über 40% der Filme in Cannes mit *ARRI ALEXA* gefilmt“. URL: <http://www.slashcam.de/news/kurz/Ueber-40--der-Filme-in-Cannes-mit-ARRI-ALEXA-gefilm-87.html>, Stand 02.11.2013

Doch wie sinnvoll ist eine 6K Kamera? Was bedeutet das eigentlich genau, 6K? Und wer *braucht* 4K+ überhaupt?

1.3 Die „Red Digital Cinema Camera Company“

Die „Red Digital Cinema Camera Company“ (im Folgenden kurz: RED) ist ein amerikanisches Unternehmen, gegründet 2005 von Jim Jannard. RED stellt im weitesten Sinne Filmzubehör her: Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf digitalen Kameras, aber zu den Produkten gehören auch Objektive, Speicherlösungen, Displays und Software. RED-Gründer Jannard hat zuvor bereits eine andere Firma gegründet, den Sonnenbrillenhersteller *Oakely*. Diese verkaufte er 2007, zwei Jahre nach der Gründung von RED. Sein Ziel mit RED war ehrgeizig: „[...] to build the world’s best cameras“³.



Abbildung 2: Das Firmenlogo des amerikanischen Herstellers „Red Digital Cinema Camera Company“.

Erstmals in Erscheinung trat RED mit der Ankündigung der *RED One* Kamera auf der NAB Show⁴ im April 2006. Wirklich verfügbar war die Kamera allerdings erst etwa anderthalb Jahre später, nämlich im August 2008.⁵ Die potentiellen Kunden waren verärgert: Wer die Kamera bereits vorbestellt hatte, hatte lange auf sie zu warten, weil der Liefertermin wieder und wieder verschoben wurde. Auch die technischen Spezifikationen der Kamera änderten sich währenddessen mehrmals („Everything in life changes...

³ RED Digital Cinema: „*The History of RED Digital Cinema*“. URL: <http://www.red.com/history>, Stand: 22.10.2013

⁴ Die NAB Show findet jährlich in Las Vegas statt und ist die weltweit größte Messe für elektronische Medien. Die Hersteller von selbigen stellen ihre Neuentwicklungen üblicherweise hier erstmals der Öffentlichkeit vor.

⁵ vgl. Freedman, David H.: „*Innovative Rebel: High-Tech Camera Maker Jim Jannard*“. URL: <http://www.inc.com/magazine/201305/david-h-freedman/jim-jannard-and-the-red-camera-rebels.html>, Stand: 07.01.2014

including our camera specs and delivery dates...”, Jim Jannard⁶). Die ersten Serienmodelle der Kamera hatten zudem noch Fertigungsmängel und wurden später durch RED ausgetauscht. Eine solche “Firmenpolitik” kannte man bis dahin von den großen Herstellern wie ARRI, Sony & Co nicht, und die anfänglichen Probleme mit der RED One und der Firma im Allgemeinen bescherten dem Hersteller einen Ruf, der ihm bis heute nacheilt.

Das hängt aber nicht zuletzt auch mit dem eigenen Firmenbild von RED zusammen. Dort sieht man sich gerne als „Underdog“, der die Kameraszene mit Innovationen und erschwinglichen Preisen umkrempelt. Das ist in der Vergangenheit auch zweifelsohne schon gelungen, denn neben den Canon DSLRs hat keine andere Kamera den Markt der digitalen Kameras in dem Maße beeinflusst wie die RED One.



Abbildung 3: Eine „drehfertige“ Red One

Die RED One wurde relativ schnell eine der meistgenutzten digitalen Kinokameras im Spielfilm- und Werbefilmbereich, bis zum Erscheinen der ARRI Alexa. Dementsprechend schnell wurden auch verschiedene Mängel und “Bugs” der Kamera bekannt⁷, wogegen RED jedoch regelmäßig durch Firmware-Updates vorging. Insgesamt litt die Kamera jedoch gerade in den Anfangszeiten unter dem Ruf, nicht besonders zuverlässig zu sein, was den Einsatz bei großen Produktionen anging. Auch wenn sich bei RED in dieser Hinsicht viel getan hat; aufgrund der Erfahrungen mit der RED One (und der

⁶ Jannard, Jim: “Everything changes... IMPORTANT post”, URL: <http://www.reduser.net/forum/showthread.php?87757-Everything-changes-IMPORTANT-post>, Stand: 04.12.2013

⁷ vgl. Gardiner, James: „Red camera, nothing but hype“. URL: <http://www.crafted.com.au/blog/2008/11/25/red-camera-nothing-but-hype>, Stand: 04.12.2013

langen Wartezeit zwischen Vorstellung und tatsächlicher Verfügbarkeit) gab es bei Ankündigungen der neuen *RED Epic* Kamera auf der NAB 2011 wieder skeptische Reaktionen. Doch RED wusste um die Vorbehalte, und am 2. September 2011 kündigte Vorstand Jim Jannard (als Reaktion auf die allgemeine Skepsis) im RedUser-Forum eine Art „philosophy change“⁸ an:

“Up 'til now, we have said what we are "going to do". As of now, that has changed (we promised that everything is subject to change... including our strategy). We will only announce new things when they are done and ready to ship. That includes Scarlet and all other new products and accessories. We used to go by "always late but worth the wait". That will no longer be the case because we won't telegraph what we are planning anymore. There will be no possibility of us being late. No more "we expect this to be done by..." From now on it will only be "Here is [sic!] is and we are ready to ship".”⁹

Von nun an sollten also keine Ankündigungen von neuer Technik mehr gemacht werden, wenn diese noch nicht reif für die Serienproduktion – und folglich baldige Auslieferung – sei. Dennoch gab es nach Einführung des neuen „Flaggschiffs“ von RED, der Epic, wieder häufig Beanstandungen von Kameramännern und –assistenten, also von Menschen, die mit der Kamera tatsächlich *arbeiten*. Das hing nicht zuletzt auch mit dem modularen Aufbau der Epic zusammen.

1.3.1 Die RED Epic

Die zweite Kamera, die RED nach der RED One auf den Markt brachte, ist die Epic. Am 15. April 2010 wurde während der NAB 2010 ein Prototyp der Kamera vorgestellt; Anfang 2011 präsentierte man zunächst die Epic-M, Ende 2011 dann die Epic-X. Die Epic-M wird (teilweise) manuell gefertigt, während die Epic-X ein komplettes Serienmodell ist. Ansonsten sind die Kameras technisch wie äußerlich identisch.

Das Herzstück der Epic ist ihr „Mysterium-X“ Sensor. Dieser misst 27.7x14.6mm und ist damit in etwa so groß, wie ein einzelnes Bildfenster von Super 35mm Film (im Seitenverhältnis 1:1,85). Der Sensor hat eine Grundempfindlichkeit von 800 ASA und löst mit max. 5120x2700 Pixeln auf, was einer Auflösung von 13,8 Megapixeln entspricht.

⁸ Jannard, James: „*Philosophy change...*“, URL: <http://reduser.net/forum/showthread.php?62908-Philosophy-change>, Stand: 08.12.2013

⁹ Jannard, James: „*Philosophy change...*“, URL: <http://reduser.net/forum/showthread.php?62908-Philosophy-change>, Stand: 08.12.2013

Diese Auflösung macht die Kamera auch für Fotografen interessant: Sie können sich aus Filmaufnahmen praktisch jeden beliebigen Frame (dt. Einzelbild) extrahieren und als hochauflösendes Standbild nutzen. Und das bei 5K Auflösung mit bis zu 120 fps (engl. „frames per second“; Bilder pro Sekunde) – so eine Serienbildrate schafft kein digitaler Fotoapparat.

Mit der Epic wurde bei RED ein modulares System („DSMC“) eingeführt, das es dem Nutzer ermöglichen soll, die Kamera individuell nach und nach zu erweitern. Außerdem lassen sich bei eventuellen Verbesserungen einzelne Komponenten des Kamerasystems auswechseln, ohne dass man gleich eine komplett neue Kamera kaufen muss – so zumindest die Theorie hinter dem modularen System. Das DSMC-System ist eine Art Baustein-System, bei dem der Nutzer die Kamera nach Belieben konfigurieren kann. Grundbaustein ist die Kamera selbst (im RED-Jargon „Brain“ genannt), also nur der *Body*, ohne typische Merkmale einer digitalen Kamera wie Sucher, Display oder Bedienpanel (vgl. Abb. 4).



Abbildung 4: Das „Brain“ der RED Epic-X mit Mysterium-X Sensor und PL-Mount: kein Bedienpanel, kein Sucher, kein Display. Sämtliches Zubehör muss separat erworben werden.

Jegliches Zubehör muss der Nutzer separat erwerben. Das gibt zum einen eine hohe Gestaltungsfreiheit bei der Konfiguration, ist aber andererseits auch ein durchaus geschicktes Geschäftsmodell: So scheint der Preis der Kamera (bei Einführung \$34.500) zunächst – und gemessen an den technischen Spezifikationen – relativ günstig. Dabei muss allerdings bedacht werden, dass jede Menge Zubehör nötig ist, um eine „drehfertige“ Kamera zu erhalten; das Touchscreen-Display, der Sucher, Speichermedien und Kartenlesegeräte, Stromversorgung, „Unterbau“ wie eine Bridgeplate für Rohre - und einiges mehr (vgl. S. 7, Abb. 5).



Abbildung 5: Das modulare DSMC System der RED Epic.

Unter dem Druck wachsender Konkurrenz, und insbesondere der Ankündigung von Sonys *F5* (2K) und *F55* (4K), reduzierte RED die Preise im November 2012 für die Epic erheblich. So kostete der Body nun statt den ursprünglichen 34.500 Dollar nur noch 19.000 Dollar. Diese Preissenkung war eine Kampfansage an die Konkurrenten, die nach und nach eigene 4K-fähige Geräte auf den Markt brachten: beispielsweise Sony mit der *F55* oder Canon mit der *C500*.

1.3.2 REDs Kritik an 4K-Auflösung

Doch laut RED ist auch die 4K-Auflösung für die Zukunft des digitalen Kinos nicht ausreichend. Jahrelang verstand man sich als Vorreiter der "4K-Bewegung", bis Vorstand Jannard im April 2013 folgendes Statement veröffentlicht:

"We entered the market way back when [sic!] with a 4K camera. Our thinking was that 1080P was not good enough to replace film. We were right apparently... 7 years later. What we learned along the way was that while 4K acquisition was certainly better than 1080P... it was not ideal. A 4K finish from a bayer pattern sensor (what everyone does) begs for more captured resolution than 4K. A 1080P sensor (1920x1080) does not fill up a 1080P box. A 4K sensor also does not fill up a 4K box. Our M-X sensor captured 4.5K in a RED ONE and 5K in an EPIC-X (or EPIC-M). Much better. The 4K box was almost full. 6K... the 4K box is overflowing. [...] So while the others have joined the party... they have entered where we were 7 years ago. They have thrown the ball to where

the receiver was... not where he is. At some point you need to decide who you believe will deliver the future. The company with the vision, or the company that follows the vision. Who is ahead and who is behind? If the company with the vision also happens to embrace their customers at all costs (upgrades instead of all new cameras)... you win every which way you look at it. The choice is yours...”¹⁰

Jannard deutet hier an, dass ein 4K-Sensor nicht automatisch in der Lage ist, ausreichend Auflösung für eine 4K-Wiedergabe zu liefern. Auf die in dieser Aussage implizierte Anspielung soll an späterer Stelle eingegangen werden (vgl. Kap. 2.4). Was er in dieser Stellungnahme aber ebenfalls anspricht, ist die verzögerte Reaktion der Konkurrenz auf die 4K-fähige Aufnahmemöglichkeit der Red One: Sieben Jahre sind vergangen nach Einführung des Mysterium-X-Sensors, und erst jetzt gibt es entsprechende Konkurrenzmodelle auf dem Markt. Es ist nicht abzustreiten, dass RED in Sachen “digitales 4K” ein, wenn nicht sogar *der* Wegbereiter war – aber wieso kommt der Hersteller nun zu dem Schluss, dass selbst die 4K-Auflösung dem Zuschauer nicht gerecht wird?

Außerdem betont Jannard die Strategie, eine bereits erschienene Kamera im Nachhinein durch ein sog. „Sensor-Upgrade“ signifikant aufzuwerten. Es ist also nicht nötig, eine komplett neu entwickelte Kamera zu erwerben; stattdessen wird ein interner technischer Baustein erneuert, der neue Aufnahme-Möglichkeiten eröffnet. Einzigartig unter den großen Herstellern ist übrigens auch das *REDUser*-Forum; viele Hersteller kommunizieren mittlerweile über soziale Medien mit den Endverbrauchern, aber keiner hat ein eigenes Forum, das online einen direkten Kontakt zu den Machern ermöglicht.

1.3.3 Upgrade: der DRAGON-Sensor

Am 9. April 2013 startete RED das Dragon-Sensor Upgrade-Programm, medienwirksam inszeniert mit einem eigens dafür eingerichteten Stand auf der NAB Show 2013. Die Besucher der Messe konnten sich dort ein Bild davon machen, wie die „Operation am Kameraherzen“ aussieht (vgl. S. 9, Abb. 6).

¹⁰ Jannard, Jim: „4K?“. URL: <http://www.reduser.net/forum/showthread.php?98130-4K>, Stand: 11.12.2013



Abbildung 6: Auf der NAB 2013 in Las Vegas zeigt RED den Besuchern der Messe, wie das Upgrade vom Mysterium-X Sensor auf den neuen Dragon-Sensor vonstatten geht.

Bei diesem Upgrade handelt es sich tatsächlich nur um ein *Sensor-Upgrade*; die Kamera bleibt äußerlich dieselbe – und doch ändert sie sich in gewisser Weise von Grund auf. Dazu muss die Kamera (ausgestattet mit dem „alten“ Mysterium-X-Sensor) zunächst einmal zu RED eingeschickt werden. Dort wird der alte Sensor gegen den neuen Dragon-Sensor ausgetauscht. Dieser Vorgang wird dem Kunden mit 9.500 Dollar in Rechnung gestellt. RED selbst beschreibt den Prozess mit den Worten: „[...] we install the RED DRAGON sensor and internal magic“¹¹.

RED wirbt damit, dass der neue Sensor in 6K auflöst. Das bedeutet im Falle des Dragon Sensors eine Auflösung von 6144 horizontalen und 3160 vertikalen Pixeln. Ist das wirklich ein so großer bildtechnischer Unterschied zum „Vorgänger“, dem Mysterium-X-Sensor der Epic (der immerhin in 5K auflöst)? Was bedeutet eigentlich „5K“ und „6K“ – was heißt „Auflösung“ in diesem Zusammenhang? Auf diese und weitere Fragen soll im Folgenden eingegangen werden. Die gängigen Begriffe derameratechnik werden dabei als bekannt vorausgesetzt; bestimmte Fachbegriffe und Sachverhalte sollen dem Leser aber in Fußnoten erläutert werden, um ein Grundverständnis der Materie zu gewährleisten.

¹¹ RED Digital Cinema: „NAB: The DRAGON Upgrade Station“. URL: <http://www.red.com/news/nab-the-dragon-upgrade-station>, Stand: 11.11.2013

2 Sensortechnik

2.1 Der Sensor einer Kamera

Digitale Filmkameras (sowie auch digitale Fotoapparate) arbeiten ausnahmslos mit einem sog. „Sensor“ als Herzstück. Der Sensor stellt in der digitalenameratechnik das Äquivalent zum analogen Film als Aufnahmemedium dar. Wenn in dieser Arbeit von „Analogfilm“ oder „Film“ gesprochen wird, so ist damit stets Bewegungsfilmmaterial gemeint, nicht der fotografische Film. In der Theorie lässt sich jedoch vieles, was auf (Bewegt-)Film und digitale (Video-)Sensoren zutrifft, auch auf die analoge bzw. digitale Fotografie übertragen – und umgekehrt.

Es gibt verschiedene klassische (professionelle) Filmformate, von 16mm Film über den Normalfilm 35mm bis hin zu Breitfilm 65mm bzw. 70mm. Die Sensorformate der digitalen Kinokameras entsprechen nicht unbedingt diesen Filmformaten, aber teilweise ähneln sie sich sehr. Das ist kein Zufall: Ziel der digitalen Aufzeichnung ist es seit jeher, dem Bildeindruck von klassischem Filmmaterial so nah wie irgendwie möglich zu kommen. Schärfentiefe¹² und Lichtempfindlichkeit hängen direkt mit der Größe des Filmmaterials – und somit auch der Sensorgröße – zusammen. Das digitale Rauschen des Sensors soll möglichst dem Filmkorn ähneln, und auch die Farbmatrix orientiert sich meist an klassischen Filmtypen von Kodak und Fuji.

Die Sensoren digitaler EB-Kameras¹³ werden in dieser Arbeit weitestgehend außer Betracht gelassen: Das Augenmerk soll hier auf digitale Kinokameras gelegt werden, nicht auf Reportage- und Dokumentarkameras, die durch einen kleinen Sensor möglichst viel Schärfentiefe erzeugen. In der Welt der „digitalen Kinokameras“ ist das Gegenteil der Fall: hier ist möglichst wenig Schärfentiefe gewünscht, da uns dieser Bildeindruck vom klassischen Super 35 Film bekannt vorkommt und mittlerweile ständig mit dem Begriff vom „Kino-Look“ gleichgesetzt wird.

¹² Schärfentiefe, manchmal auch Tiefenschärfe: bezeichnet den Bereich des Bildes, der scharf dargestellt wird. Große Schärfentiefe wird erreicht durch kurze Brennweiten oder kleine Blendenöffnung; wenig Schärfentiefe durch längere Brennweiten und große Blendenöffnung. Auch die Größe des Sensors (bzw. des Filmmaterials) spielt dabei eine Rolle: Je größer die Filmebene, desto geringer die Schärfentiefe.

¹³ EB-Kamera: „EB“ steht für „elektronische Berichterstattung“. Mit EB-Kameras sind Kameras gemeint, die vorzugsweise bei Dokumentationen, Reportagen oder Studio-Aufzeichnungen genutzt werden.

2.2 Sensorgrößen

Ein Bildfenster von Analogfilm Super 35 (3-perf, 16:9) hat die physischen Abmessungen von 24.9x14mm. Je nach Seitenverhältnis des Bildes (engl. „aspect ratio“) ist das vertikale Maß variabel; das horizontale Maß ändert sich nicht. Bei der Konstruktion von digitalen Sensoren hat man sich im professionellen Segment an dem Format von Super 35 orientiert: Sowohl in der digitalen Fotografie (APS-C Sensoren) als auch bei digitalen Kinokameras (S35-Sensoren) finden wir Sensoren mit ähnlichen Maßen. Verwirrung entsteht oft, wenn in diesem Zusammenhang vom „35mm Full Frame“-Sensor (dt. „Vollformat“) gesprochen wird, wie er etwa in der *Canon 5D Mark III* zu finden ist. Dieser hat die Maße 36x24mm, und ist damit entschieden größer als das Super 35 Filmmaterial. Wenn in diesem Zusammenhang von „Vollformat“ die Rede ist, wird allerdings nicht das 35mm Bewegtbilmmaterial, sondern der fotografische 35mm Film als Vergleich herangezogen. Fotografischer 35mm Film hat ebenfalls die Abmessungen 36x24mm.

Sensor size comparison chart									
Type	1/3"	1/2"	2/3"	4/3"	APS-C	Canon Nikon Pentax DX	Super 35	APS-H	35mm Full Frame
sensor w x h	4.8 x 3.6mm	6.4 x 4.8mm	8.8 x 6.6mm	17.8 x 10mm	22.2 x 14.8mm	23.6 x 15.5mm*	24.89 x 18.66mm	28.7 x 19.1mm	36 x 24mm
sensor diagonal	6mm	8mm	11mm	20.41mm	26.7mm	28.4mm	31.1mm	34.5mm	43.3mm
sensor area	17.3mm ²	30.7mm ²	58.1mm ²	178mm ²	329mm ²	366mm ² *	464.44mm ²	548mm ²	864mm ²
crop factor	7.21	5.41	3.93	2	1.62	1.52	1.39	1.26	1
applicable cameras				Panasonic AG-AF101	Canon EOS 7D Canon EOS 60D Canon EOS 50D Sony NEX-VG10E	*Approx	Arri Alexa Sony PMW-F3 Sony SRW-9000PL Sony F35		Canon EOS 5D MkII Nikon D3s

© Copyright CVP 2010

Abbildung 7: Vergleich verschiedener Sensorgrößen.

Abbildung 7 zeigt tabellarisch einen Vergleich bestimmter digitaler Sensoren. Sowohl die RED One MX als auch die RED Epic gehören zur Kategorie „Super 35“, wobei der Sensor der Epic etwas größer ist als der Sensor der One MX. Wie aus Abb. 7 ersichtlich ist, hat auch die ARRI Alexa einen S35-Sensor. Dieser löst aber „nur“ in 2K auf, während die RED Epic mit Mysterium-X Sensor in 5K auflösen kann. Das hat Vor- und Nachteile, die im Folgenden erläutert werden (vgl. Kap. 6). Dazu folgt zunächst ein Überblick über die grundlegenden Funktionsmerkmale eines Kamerasensors.

2.3 Der CMOS-Sensor

Die digitalen S35-Kinokameras der großen Hersteller sind allesamt mit CMOS Sensoren bestückt. Der CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) Chip besteht im Grunde genommen aus einer Vielzahl von Fotodioden.

Durch das Objektiv wird das Lichtspektrum gebündelt und auf den Sensor projiziert. Die Fotodioden wandeln dann, vereinfacht gesagt, das Licht in elektrische Spannung um. Diese elektrischen Signale werden dann weiterverarbeitet und zur Ausgabe gebracht, indem sie beispielsweise auf ein Speichermedium geschrieben werden.

Die Fotodioden auf der Sensoroberfläche können unterschiedlich lichtempfindlich sein. Diese Empfindlichkeit der Zellen wiederum kann elektronisch verstärkt werden. Das geschieht in der Kamera über die ISO- oder Gain-Einstellung.

2.3.1 Der Bayer-Filter

Die einzelnen Photozellen eines Sensors können bauartbedingt keine Farbinformationen erfassen, sondern nur Helligkeitswerte. Um Farbinformationen zu sichern, wird daher auf der Pixelfläche des Sensors ein Mosaik aus winzigen Farbfiltern aufgebracht; das gängigste Modell ist der sog. Bayer-Filter (engl. „bayer pattern“). Dabei wird vor jedes Element des Sensors ein Farbfilter angebracht. Das Bayer System besteht aus 50% Grün, 25% Rot und 25% Blau, angeordnet in einem Schachbrett-Muster (vgl. Abb. 8). Grün hat hier den größten Anteil, da mehr als 60% der Luminanz im Grün-Spektrum transportiert wird. Diese Erkenntnis ist abgeleitet vom menschlichen Auge, welches auf grün empfindlicher reagiert als auf andere Farben. Mit dem Bayer-Prinzip versucht man folglich, die Beschaffenheit der Retina des menschlichen Auges zu imitieren.

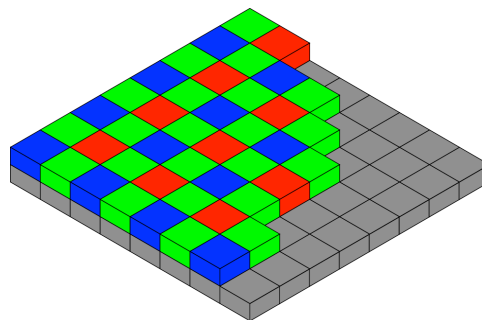


Abbildung 8: Schematische Darstellung des „Bayer“ Farbfilters auf dem Sensor

Der Nachteil des Bayer-Filters ist, dass jeder Pixel durch den Filter nur Informationen für *eine einzige* der drei möglichen Farben an seiner Stelle transportiert; Rot, Grün oder Blau. Um daraus im Endeffekt ein Farbbild mit feinen Farbabstufungen zu erhal-

ten, wird in der Kamera mittels Algorithmen für jeden Pixel ein Farbwert errechnet („interpoliert“), der das komplette Spektrum aus Rot, Grün und Blau abdeckt. Diesen Vorgang nennt man „Debayering“. Je nach Komplexität des Interpolationsverfahrens wird unterschiedlich viel Rechenleistung benötigt. Dabei kann festgehalten werden, dass bei kamerainterner Interpolation nie die Qualität erreicht werden kann, wie im Nachhinein am „vollwertigen“ Rechner – also in der Postproduktion.

2.4 Das Rohdatenformat

Um das interne Debayering zu umgehen und die Farbwerte in Postproduktion bestimmen zu können, müssen allerdings die unbearbeiteten Direktinformationen vom Sensor vorliegen, die sog. „Rohdaten“ - direkt vom Sensor abgegriffen, ohne kamerainterne Nachbearbeitung. Mit diesen Rohdaten (engl. „raw“) ist die Postproduktion nun wesentlich flexibler als mit „fertigen“ Bilddaten, die bereits in der Kamera nachbearbeitet wurden. Die Farbwerte lassen sich erheblich besser korrigieren, ebenso Farbtemperatur und Belichtung des Bildmaterials (vgl. Kap. 5.3). Das hilft nicht nur bei der Farbkorrektur, sondern ermöglicht natürlich auch erheblich mehr Möglichkeiten beim Color Grading¹⁴. Es wird also der Datenstrom vom Sensor abgegriffen, *bevor* das interne Debayering stattfindet. Dieses „Rohbild“ sieht zunächst nicht so ansprechend aus, wie ein „fertiges“ Bild aus der Kamera (also „debayered“), doch das täuscht: Im RAW-Format¹⁵ steckt, den nachträglichen Bearbeitungsspielraum betreffend, weit mehr Potential. Dem RAW-Material mangelt es noch an Sättigung, Schärfe und Kontrast. Diese Bildparameter müssen nun nachträglich festgelegt werden. Ein weitverbreiteter Irrglaube ist, RAW-Aufnahmen seien mit unkomprimierten Aufnahmen gleichzusetzen. Auch wenn die Rohdaten des Sensors mehr Flexibilität in der Postproduktion ermöglichen – unkomprimiert sind sie dennoch nicht.

Worauf Jim Jannard anspielt, wenn er sagt „A 4K finish from a bayer pattern sensor [...] begs for more captured resolution than 4K.“¹⁶ (vgl. Kap. 1.3.2), ist die Interpolation, die kameraintern geschehen muss, um vom 4K-Sensor mit Bayer-Filter ein fertiges 4K-RGB-Bild zu rendern, also ein Farbbild mit den Maßen 4096x2160 Pixel. Wie oben erläutert, besteht ein 4K-Sensor aufgrund des aufliegenden Bayer-Filters also sozusagen

¹⁴ Unter „Color Grading“ versteht man eine umfangreiche Farbkorrektur und Lichtbestimmung in der Postproduktion. Hierbei wird durch Eingriff in Farben, Kontrast und Helligkeit ein „Look“ für den Film entworfen.

¹⁵ Die Schreibweise „RAW“ für das Rohdatenformat „raw“ hat sich so durchgesetzt: Obwohl RAW keine Abkürzung ist, sondern vom engl. „raw“ (dt. roh) stammt, werden die drei Buchstaben im allgemeinen groß geschrieben.

¹⁶ Jannard, Jim: „4K?“. URL: <http://www.reduser.net/forum/showthread.php?98130-4K>, Stand: 11.12.2013

gen aus einem 2K-Grün-Sensor (50% Grünanteil), einem 1K-Rot-Sensor (25% Rotanteil) und einem 1K-Blau-Sensor (25% Blauanteil). Aus diesem Bayer-Muster muss ein Debayer-Algorithmus demnach ein Bild mit vollwertigem Grün-, Rot- und Blauanteil errechnen. Das bedeutet automatisch einen Verlust an Auflösung im Bild. Die effektive Auflösung eines Bayer-Sensors liegt in der Regel bei etwa 80% der RAW-Auflösung. Das bedeutet für einen 4K-Bayer-Sensor mit etwa 8.8 Megapixeln (4096x2160) eine effektive RGB-Auflösung von 7 Megapixeln (3276x1728), also etwa 3K.

Das ist bei den Kameras von RED nicht anders: Auch diese nutzen einen Sensor mit Bayer-Filter. Die Epic aber beispielsweise ist in der Lage, 5K mit 5120x2700 Pixeln (13.8 Megapixel) aufzuzeichnen. Rechnerisch ergibt das nach dem Debayering eine RGB-Auflösung von etwa 11 Megapixeln, also 4096x2160 – demnach also "echtes" 4K.

3 Sensortechnik

Der Mysterium-X 5K-Sensor der RED Epic ist also in der Lage, „echtes“ 4K-RGB-Material zu liefern, wie in Kap. 2.4 erläutert. Der neue Dragon-Sensor sollte also im Umkehrschluss „echtes“ 5K-Material (nach Debayering) produzieren können. Dennoch vermarktet RED ihn als 6K-Sensor. Was die Vorteile des Dragon-Sensors gegenüber dem Mysterium-X-Sensor sind, soll im folgenden Kapitel näher erläutert werden.

3.1 Das Sensor-Upgrade

Die RED Epic ist die erste digitale Kamera überhaupt, die ein sog. „Sensor-Upgrade“ erfährt. Das gab es bis dato bei keiner anderen Kamera. RED kommt damit augenscheinlich Kundenwünschen entgegen; Kunden, die demnach offenbar nach höherer Auflösung verlangen. Mehr Auflösung, weil die bisherige nicht genügt? Dazu an späterer Stelle mehr. Das Sensor Upgrade von „Mysterium-X“ zu „Dragon“ birgt nämlich neben dem physisch größeren Sensor und einer gesteigerten Resolution noch andere Vorteile.

3.1.1 Mehr Blendenumfang

Zum einen wirbt RED beim Dragon-Sensor mit einem Blendenumfang¹⁷ von über 16 ½ Blenden. Zum Vergleich: Kodak gibt für sein Filmmaterial generell einen Blendenumfang von 15 Blendenstufen an. Der Mysterium-X-Sensor hat einen Umfang von 13 Blenden; die ARRI Alexa wirbt mit 14 Blenden¹⁸. Damit wäre der Dragon-Sensor bislang das Aufnahmemedium mit dem größten Kontrastumfang, das derzeit erhältlich ist. Ob er dieses Versprechen halten kann, wird sich erst im Praxiseinsatz zeigen. Vorteil eines derart großen Belichtungsumfanges wäre in der Praxis, dass auch schwierige Lichtsituationen realitätsnah (in diesem Fall also etwa so, wie das menschliche Auge es wahrnehmen würde) eingefangen werden können. Dem menschlichen Auge sagt man einen Kontrastumfang von 20 Blendenstufen nach, wobei die Iris hier binnen Millisekunden die Größe der Pupille regelt und so, ähnlich einer Objektivblende, bestimmt, wie viel Licht auf die Retina fällt.

¹⁷ Der Blendenumfang gibt an, wie viel Belichtungsspielraum ein Filmtyp oder Sensor zwischen absolutem Schwarz und absolutem Weiß hat, also wie viele Blenden Abstufungen dazwischen liegen.

¹⁸ ARRI Group: „ALEXA FAQ“. URL: http://www.arri.com/camera/digital_cameras/learn/alexa_faq, Stand: 08.01.2014

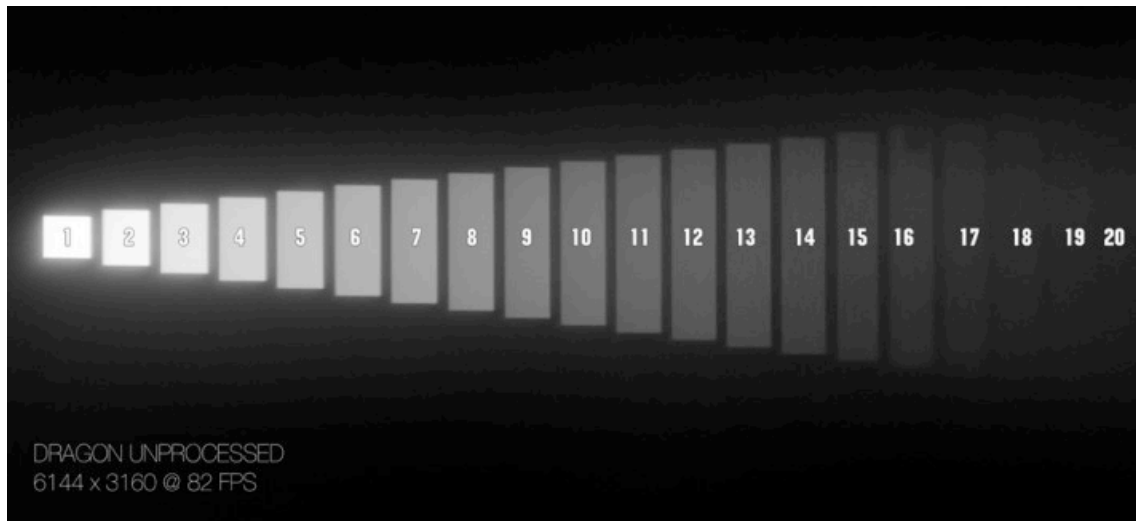


Abbildung 9: Am 31.12.2012 veröffentlichte RED dieses erste Bild vom Dragon-Sensor, ein Testbild um den Blendenumfang des Sensors festzustellen.

Bei dem verfügbaren Belichtungsspielraum des Sensors spielt natürlich auch die Empfindlichkeit (ISO) eine Rolle. Der Dragon Sensor soll von ISO 200 bis ISO 2000 eine Bildqualität bieten, die „Druck- und Kinoqualität entspricht“¹⁹. Außerdem hat selbstverständlich auch die physische Größe des Sensors Einfluss darauf, wie viel Licht er einfangen kann; je größer die Fläche, desto mehr Licht kann aufgenommen werden.

3.1.2 Verbesserte Farbwiedergabe

Mit einer neu entwickelten „Color Science“ sollen feinere tonale Abstufungen der Farben als bisher möglich sein. Auch Hauttöne sollen natürlicher dargestellt werden, was generell ein wichtiges Kriterium für digitale Kameras darstellt. Bislang ist das analoge Filmmaterial im Hinblick auf die Differenzierung von unterschiedlichen Hauttönen und -farben unübertroffen.

Durch die Speicherung im RAW-Format sollen die Bilder des Dragon Sensors nah an den vom Film gewohnten Belichtungs- und Farbspielraum kommen. Nicht umsonst wird das RAW-Format oft mit dem Begriff vom „Digital Negative“ umschrieben: Vom Filmmaterial her weiß man, wie „gutmütig“ ein Negativ in Bezug auf Über- und Unterbelichtung und Farbtemperatur ist. Es gibt ungewöhnlich viel Spielraum in der Entwicklung. Das ist beim RAW-Bild ganz ähnlich. Auch RAW-Aufnahmen lassen sich in der

¹⁹ RED Digital Cinema store (DE): „EPIC-M RED DRAGON W/ SIDE SSD AND LENS MOUNT“. URL: <http://de.red.com/store/products/epic-m-red-dragon-w-side-ssd-and-lens-mount>, Stand: 21.12.2013

Nachbearbeitung (dem Äquivalent zur Filmentwicklung) noch in Belichtung und Farbgebung stark verändern. Auch digitales Nachschärfen, Rauschunterdrückung und Tonwertkorrekturen bringen aufgrund der höheren Farbinformationen erheblich bessere Ergebnisse, als es bei „herkömmlichen“ Bilddateien möglich ist.

3.2 „Highlight rolloff“

Die höhere Auflösung und die damit verbundene erhöhte Pixelanzahl sorgen nebenbei für eine feinere Abstufung der Farb- und besonders der Helligkeitsinformationen. Dadurch ergeben sich im Bild bei Übergängen von hell zu dunkel „weichere“ Kanten, was vom Auge als natürlicher empfunden wird. Im Englischen wird dieser Effekt mit „highlight rolloff“ umschrieben. Wenn beispielsweise eine dunkle Innenraumszene nur durch das Tageslicht beleuchtet wird, das durch das im Bild zu sehende Fenster einfällt, dann herrscht im Bild ein hoher Kontrastumfang. Der Übergang vom hellen Tageslicht im Fenster zum eher dunklen Innenraum kann bei niedrigem Blendenumfang des Sensors sehr abrupt und kantig sein. Der Dragon-Sensor ist durch seinen hohen Blendenumfang und feinerer tonaler Abstufung (aufgrund der erhöhten Pixeldichte) in der Lage, diesen Übergang weicher und natürlicher darzustellen. Das wiederum kommt dem vom Analogfilm gewohnten Bildeindruck näher und wird daher eher als „filmähnlich“ empfunden, als dass es an ein digitales Bild erinnert.

Die Art, wie der Sensor mit den Höhen im Bild umgeht, hängt direkt mit dem Blendenumfang zusammen (vgl. Kap. 3.1.1). Oft reicht eben auch ein Blendenumfang von 14 und mehr Blenden nicht aus, um in der Realität eine Szene einzufangen, ohne dass entweder die Tiefen unter- oder die Höhen überbelichtet werden. Filmmaterial hat auch bei extremer Überbelichtung noch Zeichnung in den Höhen, die durch mehrfaches Scannen mit unterschiedlichen Belichtungen dann weitestgehend wiederhergestellt werden kann. Das ist bei einem digitalen Sensor anders: hier fangen die Höhen bei Überbelichtung viel schneller an zu „auszubrennen“: der Sensor zeichnet an diesen Stellen dann überhaupt keine Konturen mehr auf, sondern nur noch weiß. Wenn Szenen mit hohem Kontrastumfang gedreht werden, muss abgewogen werden, was wichtiger erscheint: Entweder behält man Zeichnung in den Höhen und verliert dafür in den Tiefen, oder man belichtet eher auf die Tiefen (um zum Beispiel starkes Bildrauschen zu vermeiden) und riskiert, dass die Höhen im Bild ausbrennen.

Solche Situationen treten in dokumentarischer Arbeit natürlich viel häufiger auf, als beim szenischen Arbeiten. Bei szenischen Produktionen, wie im Spielfilm- und Werbefilmbereich, kann eine Szene exakt so gelehrt werden, dass der Sensor die Lichtverhältnisse auch so einfangen kann, wie gewünscht. Bei dokumentarischem Arbeiten

hingegen hat man oft keine Möglichkeit, auf die gegebenen Lichtverhältnisse Einfluss zu nehmen.

3.3 Das Vorbild: Analoger Film

Ganz allgemein muss man allerdings auch bedenken, dass all die aufgezählten Vorteile dem „durchschnittlichen Kinzuschauer“ wohl kaum je auffallen würden. Das alles sind bildtechnische Verbesserungen, die den Kameralenten und der Postproduktion die Arbeit erleichtern können, und die unter gewissen Umständen auch tatsächlich ein „besseres“ Bild hervorbringen können. Aber im Grunde genommen interessiert es den Zuschauer am Ende nicht, ob der Film nun in 6K oder in 2K aufgenommen wurde, welche Farbmatrix angewandt wurde und wie hoch der Kontrastumfang einer beleuchteten Szene wirklich ist. Das sollte man bedenken, wenn man beobachtet, wie die Hersteller auf einem derart hart umkämpften Markt versuchen, sich gegenseitig mit Innovationen zu übertrumpfen. Es ist paradox, dass das digitale Kino mit allen Mitteln versucht, wie analoger Film zu wirken – und gleichzeitig der Grund für dessen Untergang ist.

3.4 Auflösung eines Sensors

Wenn über die Auflösung eines Sensors gesprochen wird, dann ist damit im Allgemeinen die Anzahl an Pixeln auf der Sensoroberfläche, auf die das Licht trifft, gemeint. In der digitalen Fotografie spricht man in diesem Zusammenhang von Megapixeln. Je mehr Megapixel, desto besser die Qualität des Bildes – dieser Irrglaube wurde lange Zeit durch Hersteller und Werbung verbreitet (vgl. Kap. 1.1). Mittlerweile hat sich jedoch herumgesprochen, dass die Bildqualität sogar abnimmt, wenn die Bildsensoren in immer mehr (und infolge auch immer kleinere) Bildpunkte aufgeteilt werden. Je kleiner der einzelne Pixel ist, desto weniger Licht kann er aufnehmen. Dadurch nimmt die Lichtempfindlichkeit des ganzen Sensors ab, und sog. Bildrauschen macht sich stärker bemerkbar. Dem muss dann elektronisch entgegengewirkt werden, und so wird das Bild in der Kamera dann „entrauscht“. Dass dadurch aber zwangsläufig auch Details verloren gehen, liegt auf der Hand.

Etwas anders verhält es sich bei digitalen Spiegelreflexkameras (DSLR) und den digitalen Kinokameras. Diese besitzen nämlich Sensoren, die um einiges größer sind als die von Kompaktkameras für den Consumer-Markt und EB- und Dokumentarfilmkameras. Dementsprechend kann ein größerer Sensor auch in mehrere Pixel aufgeteilt werden, ohne dass er an Lichtempfindlichkeit einbüßt.

Bei Kinokameras ist der Megapixelwert zudem nicht entscheidend; hier unterscheidet man in Zeilen, in die der Sensor das Bild auflöst. Das bekannteste Format ist sicherlich

„HD“ (*High Definition*) oder „Full HD“. Full HD stellt zurzeit den Standard in Sachen Auflösung für den Heimanwender dar: Egal ob TV, Smartphone-Display, Blu-ray Disc oder Camcorder – alles wirbt mit „Full HD“-Auflösung. Ein Full HD Bild löst mit 1920 horizontalen Bildpunkten und 1080 vertikalen Bildpunkten auf. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von „1080p“; die Ziffer 1080 beschreibt die Anzahl in vertikalen Zeilen, das „p“ steht für „progressive“. Das bedeutet, dass mit Vollbildern gearbeitet wird (in der PAL-Region sind 25 Vollbilder pro Sekunde der Standard). Das Gegenteil dazu sind Halbbilder (PAL: 50 Halbbilder), engl. „interlaced“.

4 Das neue Full HD: 4K

Die HD-Auflösung hat einen deutlich sichtbaren Unterschied zur SD-Auflösung (576 Zeilen). Vergleicht man den Bildeindruck einer Blu-ray Disc (1080 Zeilen) mit dem einer DVD (576 Zeilen), so fällt auf, dass das HD-Bild deutlich mehr Schärfe, Detail und Brillanz besitzt. Natürlich entfaltet das größere HD-Bild seine Wirkung am besten auf physisch größeren Monitoren. Dementsprechend wurden in den letzten Jahren auch die TVs für den Heimanwender immer größer; mittlerweile gibt es 70“ Bildschirme (und größer), die das Bild in Full HD darstellen.

Doch auf den großen Technikkessen, wie der NAB und der CES, wurde 2013 ein neuer Trend deutlich: in 4K (bzw. „Ultra HD“) auflösende TVs und Monitore. Offenbar ist HD schon etwa drei Jahre nach der Einführung von HDTV in Deutschland „veraltet“ – das suggerieren zumindest die Hersteller von 4K-fähigen Fernsehern, Monitoren und sonstigen Wiedergabegeräten.

Heutige UHD-TVs von Herstellern wie Samsung, Sony und Toshiba liegen preislich noch außer Reichweite der meisten Privatanwender; ein 84“ 4K-Ultra-HD-TV von Sony etwa ist derzeit (Stand: Dezember 2013) vorbestellbar zu einem Preis von knapp 25.000 US Dollar²⁰. Diese Generation von UHD-Fernsehern hat einen integrierten „Upscaler“, der Pixel interpoliert und so aus HD-Material augenscheinlich 4K-Material macht. Wie gut oder schlecht das im Endeffekt aussieht, kommt auf den Interpolationsalgorithmus des Geräts an; das gleiche Prinzip verwenden auch Blu-ray-Player, die SD-Material wie z.B. von DVDs zur Wiedergabe in Full HD hochrechnen.

4.1 4K-fähige Abspielgeräte

Erste 4K-Player befinden sich bereits in der Entwicklung oder sind sogar schon erhältlich: So kann die Ende 2013 erschienene Spielekonsole *Playstation 4* von Sony UHD-Material theoretisch wiedergeben. Zwar können laut Sony keine Spiele in 4K dargestellt werden, aber Filme in 4K soll die Konsole abspielen können. Bei Spielen wird man sich weiterhin auf Full HD Auflösung beschränken. Begründet wird dies u.a. mit der Menge an Speicherplatz und Bandbreite, die im Moment noch unerschwinglich erscheint:

²⁰ Sony US: „XBR Series 4K Ultra HD TVs“. URL: <http://store.sony.com/xbr-series-4k-ultra-hd-tvs/cat-27-catid-All-XBR-Series-TVs>, Stand: 29.12.2013

„If we consider purely memory bandwidth, with 4K, securing 2 displays worth of display buffer requires 10GB/sec. That just for simply displaying. This is our simple answer for why we're focusing on just the Full HD experience.“²¹

Doch auch Filme in 4K-Auflösung stellen die Hersteller noch vor Probleme. So würde ein Spielfilm mit durchschnittlicher Dauer von ca. 90 Minuten etwa 100 Gigabyte Speicher belegen. Das wirft natürlich die Frage auf, wie sich die Distribution von 4K Material in Zukunft gestalten wird. Laut Sony-Electronics-Präsident Phil Molyneux arbeitet Sony bereits daran, 4K-Filme auf Blu-ray Discs speichern zu können²², doch diese können im Dual-Layer-Format bislang „nur“ 50GB an Daten aufnehmen. Doch abgesehen von physischen Speichermedien ist die Distribution von Bewegtbildinhalten in 4K vor allem per Streaming interessant: In den letzten Jahren gingen DVD- und Blu-ray-Verkäufe kontinuierlich zurück und Videotheken machen immer weniger Umsatz. „Geliehen“ werden Filme vor allem über das Internet, und es gibt mehr und mehr *Video-on-Demand*-Anbieter, die um Kunden werben; *Lovefilm*, *Watchever*, *Maxdome* und *Sky Go* sind nur einige. Das lässt einen eindeutigen Trend ausmachen: Die Konsumenten gehen weg von physischen Medien, hin zu VoD-Angeboten.²³ Das hängt nicht zuletzt sicher auch mit der universellen Zugangsmöglichkeit von VoD-Diensten zusammen. Der Service ist verfügbar auf PCs und Notebooks, Tablets, Smartphones, Konsolen und weiteren Geräten – man benötigt nicht zwingend einen (stationären) DVD- oder Blu-ray-Player; ein Internetzugang genügt.

4.2 4K-Streaming

Um wettbewerbsfähig zu sein, ist es für die Anbieter wichtig, irgendwie aus der wachsenden Masse der VoD-Dienste hervorzutreten. Das geschieht zum einen (und wohl auch hauptsächlich) durch ein möglichst breit gefächertes Angebot: Wer hat die meisten Filme und Serien im Angebot? Wer die aktuellsten? Aber auch andere Faktoren spielen dabei eine Rolle: Welcher Anbieter hat nicht nur die großen Blockbuster im Sortiment, sondern bedient auch Nischen-Genres? Wo kann man Filme und Serien nicht nur synchronisiert, sondern auch in Originalsprache sehen? Nicht zuletzt spielt natürlich auch die Qualität des Streamings (d.h. die unterbrechungsfreie Wiedergabe)

²¹ PS4DAILY: „Sony comments on 4K gaming on Playstation 4“. URL: <http://ps4daily.com/2013/04/4k-gaming-on-playstation-4/>, Stand: 04.12.2013

²² vgl. Hussain, Shak: „Size of 4K Movies Revealed: Won't Fit on Blu-ray“. URL: <http://www.gadgemit.com/2013/01/16/size-of-4k-movies-revealed-wont-fit-on-blu-ray>, Stand: 04.12.2013

²³ vgl. Bundesverband Audiovisuelle Medien e.V.: „Der starke Trend zu Video on Demand hält weiter an“. URL: <http://bvv-medien.de/presse/pdf/pdf75.pdf>, Stand: 04.12.2013

und die Qualität der Inhalte selbst eine Rolle; in welcher Auflösung liegen die Filme vor, SD oder HD? Wie gut sind die Filme komprimiert, stören Artefakte und andere Bildfehler die Wiedergabe?

Viele VoD-Dienste bieten mittlerweile tatsächlich Inhalte im „kleinen HD“ (1280x720 Pixel) an. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis auch in Full HD gestreamt wird. Und wenn es soweit ist, dass in privaten Haushalten auch 4K-fähige Empfangsgeräte stehen, werden die Anbieter sich bemühen, möglichst schnell auch 4K-Inhalte per Stream bereitzustellen. Das wird aber noch eine Weile dauern, denn um die Inhalte liefern zu können, muss die nötige Technik vorhanden sein. Zum einen die Technik, die benötigt wird, um eine Infrastruktur für 4K-Streaming aufzubauen. Zum anderen aber auch die Technik für den Heimanwender, die diese Streams empfangen und darstellen kann. Diese wiederum verkauft sich erst, wenn es genügend Inhalte gibt. Ein Wechselspiel, bei dem die Anbieter zusammen arbeiten müssen. Die Vergangenheit hat aber gezeigt, dass das scheinbar doch schneller funktioniert, als man annehmen mag. Man bedenke, wie schnell nach Einführung der DVD bereits die Blu-ray erschien, und HD-Auflösung plötzlich in aller Munde war. Dennoch hat es auch hier einige Zeit gedauert, bis öffentlich-rechtliche und private Sender in Deutschland reagiert haben. Die Ablösung der SD-Sendenorm durch HDTV ist immer noch nicht ganz vollzogen (im Moment bieten die Sender beide Auflösungen an); ist die Zeit schon reif für ein neues „Format“ – 4K? Und wenn selbst 4K im Alltag noch Zukunftsmusik ist, an wen richtet sich RED mit einer 6K Kamera? Wer *braucht* 6K überhaupt?

4.3 Auflösung im Kino

Bei der Suche nach dem Nutzen von 6K-Auflösung ist es wichtig, sich einen Überblick über die Geschichte der Kinoprojektion zu verschaffen. Bis in die 1950er-Jahre war das Kinobild überwiegen schwarz-weiß und im Seitenverhältnis 4:3 (1:1.33), der Ton war monophon. Erst durch den Einzug des Fernsehers in private Haushalte war das Kino gezwungen, neue Wege zu gehen, um attraktiv zu bleiben: eben ein besonderes Erlebnis, das sich nicht nur in der Größe des Bildschirms vom heimischen TV abhebt. Das Kino wurde farbig, Breitwandfilm (engl. „widescreen“) ersetzte das 4:3-Format, und Stereoton wurde zum neuen Standard. Nach und nach übernahm das Fernsehen die Vorzüge des Kinos: Seit den 50er Jahren lösten Farbfernseher Stück für Stück die S/W-Geräte ab; in den 80er Jahren wurde aus monophonem Ton schließlich Stereo; in den 90er Jahren kamen die ersten Geräte im Widescreen-Format auf den Markt. Heute sind 1080p HDTVs zum Standard geworden, und die Preise für diese Technologie sinken kontinuierlich. Mit ihrer Auflösung von 1920 horizontalen Pixeln und 1080 vertikalen Pixeln kommen diese HDTVs der Widescreen-2K-Auflösung des Kinos erstaunlich nahe. Diese hat ebenfalls exakt 1080 vertikale Pixel, aber 1998 horizontale Pixel (im

Seitenverhältnis 1:1.85). Das sind also nur etwa 4% „weniger“ horizontale Pixel auf dem TV, als auf der großen Kinoleinwand.

Heute projiziert der Großteil digitaler Kinoprojektoren in 2K-Auflösung (d.h. min. 2048x1080 Pixel, Seitenverhältnis 1.90:1; spezifiziert von DCI²⁴). Nur wenige große Kinosäle verfügen über Projektoren mit 4K-Auflösung; in Deutschland sind das z.B. einige Säle der *CinemaxX*-Kette. Anscheinend genügt dem Großteil der Betrachter die 2K-Auflösung vollkommen, sonst gäbe es sicher bereits eine öffentliche Diskussion über die mangelhafte Bildqualität in deutschen Kinos. Direkt vergleichen lässt sich die 2K-Kino-Bildqualität jedoch nicht mit dem Full HD am heimischen TV, denn selbst bei bestmöglicher Qualität für den Heimanwender, der 1080p Blu-ray, muss der Anwender Einschränkungen hinnehmen: das Bild wird für die Speicherung auf Blu-ray immer noch stark komprimiert, während das DCP²⁵ im Kino in unkomprimierter Originalqualität vorliegt. Das ist auch mit einer der Gründe, warum die Umrüstung auf digitale Projektion für viele kleine Kinos das Aus bedeutete: Neben etwa 50.000 Euro für einen digitalen 2K-Projektor fallen noch zusätzliche Kosten für ein Serversystem an, das die speicherhungrigen und rechenintensiven DCPs verarbeiten kann. Das war und ist für viele kleine (Programm-)Kinos schlichtweg zu viel Geld, sodass wirkliche 4K-Projektion bislang nur in großen Ketten und *IMAX*-Kinos zu finden ist.

4.3.1 Digitale Projektion im Kino

Allgemein geht man davon aus, dass eine Projektionsauflösung jenseits von 2K nur ab einer bestimmten Größe der Leinwand lohnenswert ist. Die Größe der Projektionsfläche ist aber nicht der einzige Maßstab. Wesentlich ist auch der relative Abstand des Zuschauers zur Leinwand, denn er bestimmt, wie viele Details der Betrachter auf der Leinwand wahrnimmt.

²⁴ DCI: Die Digital Cinema Initiatives ist ein Verband einiger amerikanischer Filmstudios, der technische und qualitative Normen für digitales Kino festlegt.

²⁵ DCP: Digital Cinema Package. Ein Dateicontainer, der Bild- und Toninformationen für die Wiedergabe auf entsprechenden Geräten in digitalen Kinos beinhaltet.

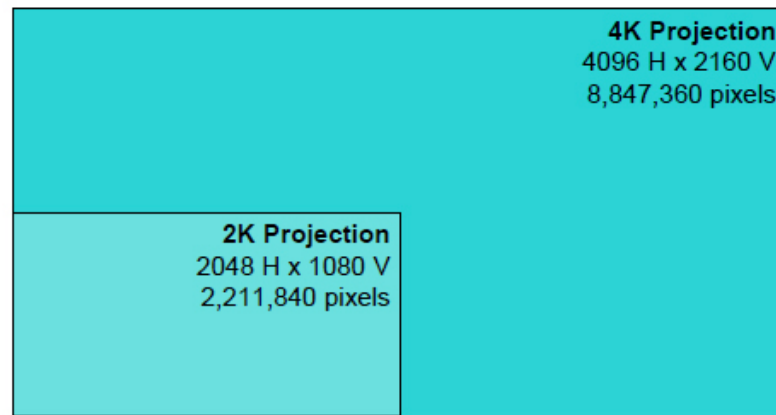


Abbildung 10: 4K-Projektion bietet exakt das Vierfache an Pixeln von 2K

Das Phänomen sollte bekannt sein: Sitzt man im Kino zu nah an der großen Leinwand, angenommen in einer der ersten drei Reihen, so ist es in der Regel sehr anstrengend, dem filmischen Geschehen zu folgen. Das menschliche Blickfeld kann nicht mehr die ganze Leinwand erfassen, da diese wegen der unzureichenden Distanz überdimensional groß erscheint. Der Zuschauer kann dem Geschehen nicht mehr durch die Bewegung der Augen folgen, sondern durch Kopfbewegungen. Er muss den ganzen Kopf nach links oder rechts drehen, und häufig auch in den Nacken legen. Das ist für die Dauer eines Spielfilms sehr anstrengend und unbequem. Doch das ist nicht alles: Durch die zu geringe Distanz zur Projektionsfläche werden auch die Grenzen der 2K-Projektion sichtbar. Ab einer gewissen Entfernung sind einzelne Bildpunkte zu erkennen, das sichtbare Bildrauschen nimmt zu und schnelle Bewegungen im Film werden verstärkt unscharf wahrgenommen, weil das Auge den Geschehnissen nicht mehr schnell genug folgen kann.

Laut einer Erhebung von Sony²⁶ beträgt dieser „Minimalabstand“ zur Leinwand im Kino etwa 1.5 PH („Picture Heights“), also das 1.5-fache der Leinwandhöhe. Jeder, der näher an der Leinwand sitzt, nimmt die Grenzen der 2K-Projektion wahr. Erst ab einem Abstand von 2.3 PH ist die Distanz zur Projektionsfläche ausreichend, und das Bild wird als angenehm und genügend hochauflösend empfunden. Zuschauer, die diesen Abstand zur Leinwand hätten, würden auch keinen merklichen Vorteil von einer 4K-Projektion auf selbige Leinwand haben, da der Abstand so groß ist, dass sich der empfundene Bildeindruck nicht sonderlich bessern würde.

²⁶ vgl. Sony Electronics Inc.: „Does 4K really make a difference?“. URL: http://pro.sony.com/bbsccms/static/files/mkt/digitalcinema/Why_4K_WP_Final.pdf, Stand: 18.11.2013

Aber für jeden anderen Zuschauer, der weniger als die 2.3-fache Leinwandhöhe als Abstand hat, wäre die 4K-Projektion eine deutliche Verbesserung. Diese Betrachter würden von der höheren Pixeldichte profitieren; das Bild würde hochauflösender (und dadurch schärfer) wirken. Störende Bildfehler wie Rauschen, Artefakte u.ä. würden reduziert werden.



Abbildung 11: Für rund 63% der Zuschauer würde im oben beschriebenen Szenario die 2K-Projektion keine befriedigende Bildqualität bieten.

5 Die Konsequenzen von 4K+

Die Kosten für die Umrüstung auf 4K-Projektion im Kino sind sehr hoch, doch schon während der Produktion und in der Post-Produktion gehen mit Aufnahmen in so hoher Qualität zusätzliche Kosten einher, die nicht zu vernachlässigen sind.

5.1 Während der Produktion

So muss im Vorhinein gründlich geplant werden, welches Budget und welcher Zeitraum für die Postproduktion zur Verfügung stehen. Und vor allem: Was ist das Endprodukt der Produktion? Es wird zum jetzigen Zeitpunkt wohl niemand auf die absurde Idee kommen, eine Produktion in 4K inklusive Finishing in 4K auf die Beine zu stellen, wenn er beabsichtigt, den fertigen Film im Internet zu streamen. Das würde sowohl ästhetisch als auch wirtschaftlich keinen Sinn ergeben. Selbst für Werbefilme, die später in den Werbeblöcken privater Sender im TV zu sehen sind, wird nur in Ausnahmefällen in höherer Auflösung als 2K produziert.

5.2 Eine 2K-Kamera als Branchenfavorit

Obwohl es mit der Sony F55 (4K) und der RED Epic (5K) bereits Kamerasysteme auf dem Markt gibt, die hochauflösender aufzeichnen, wird nach wie vor hauptsächlich auf der ARRI Alexa (2K) gedreht (vgl. Kap. 1.2). Das hat sicherlich verschiedene Gründe, auf die im Folgenden noch eingegangen werden wird – vor allem aber zeigt es, dass 2K im Jahr 2013 anscheinend noch vollkommen ausreicht. Natürlich hat die Favorisierung der Alexa auch damit zu tun, dass die Firma Arnold und Richter seit über 100 Jahren Kameras baut; sie hat sich mit der Zeit als feste Größe auf dem Kameramarkt etabliert, und Kameralente auf der ganzen Welt schätzen die Alexa als zuverlässiges Werkzeug, wenn es darum geht, schöne Bilder zu kreieren. Die Alexa hat einen relativ simplen Workflow, nicht umsonst wirbt ARRI mit dem Slogan „Shoot>Edit>Simple“²⁷. Zudem ist die Alexa im Grunde genommen relativ einfach zu bedienen; die Menüpunkte sind übersichtlich strukturiert, und am Kamerabody befinden sich haptische Bedientasten sowie ein kleines Display, das Überblick über die Kameraeinstellungen gibt. Zum Standardpaket gehören außerdem ein elektronischer Sucher und eine Aufnahme für V-Mount Akkus. All das vermisst man bei der RED Epic; das sind nicht zuletzt si-

²⁷ ARRI Media: „Workflow Alexa“. URL: <http://www.arrimedia.com/alexa/workflow>, Stand: 22.11.2013

cherlich auch Gründe dafür, warum die Epic (zumindest hierzulande) noch nicht so etabliert ist wie die Alexa. Wie eingangs schon erwähnt, hat die Firma RED, gerade auch wegen der zwiespältigen Erfahrungen mit der RED One, den Ruf, nicht besonders zuverlässig zu sein. Das liegt sicher auch an dem relativ kurzen Bestehen des Unternehmens. Konkurrenten wie ARRI, Sony, Canon stellen schon viel länger Kameras her und haben deshalb eine gewisse Reputation auf dem Markt.

Die Alexa zeichnet 2K wahlweise in Apples ProRes- oder in Avids DNxHD-Codec auf. Bei beiden handelt es sich um bekannte und seit Jahren etablierte Formate, wenn es um komprimierte Videoinhalte geht. Die Dateien sind in der Postproduktion leicht zu verarbeiten, die Workflows sind bekannt. Durch die Komprimierung ist der Speicherbedarf relativ gering; je nach Zielformat lassen sich die Codecs unterschiedlich stark komprimieren. Die Dateien sind im Schnitt direkt und ohne Umkodierung weiterzuverarbeiten. Trotzdem lassen sie aufgrund der raffinierten Komprimierung und der Farbtiefe von 4:2:2 noch Raum für eine umfassende Farbkorrektur.

5.3 Der „REDCode RAW“-Codec

Ganz anders bei der RED Epic: Diese Kamera zeichnet im eigens entwickelten Codec „REDCode RAW“ auf. Im Menü der Epic lässt sich festlegen, wie stark der Codec das Bild komprimieren soll. Die möglichen Einstellungen liegen dabei zwischen 18:1 und 3:1. Der REDCode ist also keinesfalls ein verlustfreier Codec; die Stärke der Kompression hat direkten Einfluss auf die Datenrate, die die Kamera auf die Speichermedien schreibt. Die Datenrate hängt weiterhin von der Auflösung ab, die vom Sensor abgegriffen wird, sowie von der Bildrate pro Sekunde. Bei niedrigster Kompressionsrate 3:1, voller 5K-Auflösung und 25 fps würde die RED Epic 151 Megabyte pro Sekunde schreiben. Das bedeutet, dass eine 64GB Speicherkarte bereits nach weniger als sieben Minuten voll ist. Und das wiederum hat schon während des Drehens Einfluss auf Produktionsumfang und -kosten: Der Data Wrangler muss ständig Karten wechseln und sicherstellen, dass er die Clips rechtzeitig sichert und Backups erstellt, damit das Speichermedium wieder überschrieben werden kann. Je nach Drehverhältnis kann das schnell zum Verhängnis werden, da die großen Datenmengen beim Kopiervorgang viel Zeit in Anspruch nehmen. Wenn zusätzlich noch mit höheren Bildraten (engl. „HFR“: High Frame Rate) gedreht wird, zum Beispiel um Slow Motion Aufnahmen zu erhalten, ändert sich die Schreibrate drastisch nach oben. Schon bei 120fps schreibt die Karte 725MB pro Sekunde; das bedeutet, dass eine 64GB Speicherkarte schon nach 2 Minuten Aufnahmezeit voll ist. Das sind natürlich extreme Beispiele, denn mit der Kompressionsrate 3:1 wird nur äußerst selten gedreht. Selbst große Hollywood-Produktionen drehen selten unter REDCode 5:1, da bei den REDCode Kompressionen unterhalb von 5:1 der Gewinn an Bildqualität in keinem Verhältnis zur zunehmenden Datenmenge

steht. Dennoch sollte an oben genanntem Beispiel deutlich werden, dass das Plus an Auflösung auch einen Preis hat, nämlich unter anderem deutlich höheren Speicherbedarf.

Weiterhin ist der REDCode RAW ein Codec, der keine RGB Daten speichert, sondern RAW-Bayer-Daten. Das hat entscheidende Vorteile, die Fotografen bekannt sein dürften; auch in der Welt der digitalen Fotografie gibt es das RAW-Format. Anders als beispielsweise beim JPEG-Format werden unbehandelte „Rohdaten“ vom Sensor gespeichert. Im Gegensatz zum JPEG-Format werden Bildeinstellungen wie Kontrast, Sättigung und Weißabgleich nicht „in das Bild gebrannt“, sondern sind im Nachhinein variabel (vgl. Kap. 2.4). Das RAW-Bild speichert Belichtungszeit, Blende und die ISO (die Empfindlichkeit des Sensors), aber auch diese Parameter lassen sich nachträglich viel besser verändern, als das bei einem JPEG-Foto der Fall wäre; so kann ein unterbelichtetes RAW-Foto in der Nachbearbeitung z.B. ohne allzu starkes Bildrauschen zu erzeugen noch um 1-2 Blenden angehoben werden. Das ist nur möglich, weil das Foto noch nicht durch die Kamera „bearbeitet“ wurde; in diesem Schritt, der nach dem Auslesen des Kamerasensors geschieht, werden automatisierte Prozesse wie digitale Nachschärfung und Rauschunterdrückung auf das Foto angewandt, um es anschließend mit vorgegebenen Bildparametern (wie Kontrast, Sättigung etc.) auf dem Speichermedium „abzulegen“. Dadurch, dass dieser Schritt beim RAW-Format entfällt, hat der Fotograf in der anschließenden digitalen Bildbearbeitung am PC viel mehr Möglichkeiten, das Foto zu beeinflussen.

Doch das RAW-Format bringt auch zwei Nachteile mit sich, die zu berücksichtigen sind. Zum einen braucht ein Bild im „Rohformat“ natürlich viel mehr Speicherplatz, da die Kompression der Bilddaten wegfällt. Ein Foto im RAW-Format benötigt etwa zehn bis 15 mal so viel Speicher wie ein Foto im JPEG Format. Das heißt, das Speichermedium ist schneller voll, und auch die Festplatten zur Datensicherung können weniger RAW-Fotos aufnehmen als JPEG-Fotos. Zum anderen entspricht das RAW-Foto an sich, also *unbehandelt*, nicht dem, was wir unter einem „schönen Bildeindruck“ verstehen: es hat blasse, flauere Farben, es fehlt an Kontrast und Schärfe: das Bild wirkt grau und „flach“. Eine Nachbearbeitung ist also unbedingt notwendig – ebenso, wie die entsprechende Software, die man dazu benötigt. Und etwas Offensichtliches, aber Entscheidendes: Man braucht *Zeit*. Und es ist kein Geheimnis, dass es gerade daran sowohl am Set als auch in der Postproduktion oft mangelt.

Zurück zum REDCode-Codec. Dieser Codec funktioniert *ähnlich* wie das RAW-Format in der Fotografie. Der Hersteller RED selbst erklärt den Codec wie folgt:

„REDCODE RAW- (.R3D) is a proprietary file format that efficiently encodes measurements from a camera's digital sensor in a way that maximizes post-

production capabilities. It achieves this in part by storing each of the sensor's color channels separately, prior to conversion into a full color image. Similar to the advantages that RAW files brought to stills photography, this improves control over white balance, exposure and grading in post-production.“²⁸

Es handelt sich also um ein Rohdatenformat, bei dem die Sensordaten ohne weitere kamerainterne Bearbeitung abgegriffen werden. Jeder Farbkanal des Sensors wird einzeln gespeichert, bevor die Kanäle zu einem Bild gerechnet werden. Genau wie in der Fotografie sichert man sich dadurch maximale Kontrolle in der Postproduktion. Nichtsdestotrotz ist das von RED entwickelte Format aber komprimiert. Es arbeitet mit einer variablen Bitrate, d.h. mit einer Art „intelligenter Kodierungsanpassung“. Dabei wird je nach Bildinhalt entschieden, mit welcher Datenrate welche Bildbereiche erfasst werden. Hat ein Bild z.B. wenig bewegten Inhalt (also eine statische Aufnahme ohne allzu viel Bewegung im Bild), wird mit einer niedrigeren Bitrate geschrieben. Ist jedoch viel Bewegung im Bild, passt sich die Bitrate bei variabler Kodierung an, es wird also eine höhere Datenrate geschrieben. So wird die durchschnittliche Bitrate möglichst niedrig gehalten, da der Codec sich auf Bildbereiche konzentriert, in der eine hohe Bitrate wirklich nötig und sinnvoll ist. In einer Auflösung von 4K nur unkomprimierte Vollbilder in RAW zu speichern, wäre viel zu speicherintensiv, da wie schon erwähnt, RAW-Bilddaten sehr große Dateien sind.

Wann also braucht man aus technischer Sicht überhaupt die aktuellen 5K der Epic, bzw. in Zukunft die 6K-Auflösung des Dragon Sensors?

²⁸ RED Digital Cinema: “*Overview of the REDCODE File Format*”, URL: <http://www.red.com/learn/red-101/redcode-file-format>, Stand: 05.12.2013

6 Der Nutzen von Auflösungen jenseits 2K

Natürlich verspricht die höhere Auflösung eines Sensors zunächst auch einmal bessere Bildqualität, denn je feiner ein Bild in einzelne Bildpunkte aufgelöst wird, desto mehr Details sind erkennbar. Doch das ist nicht der einzige Grund, weshalb Filmproduktionen gerne in höchstmöglicher Auflösung drehen – wenn das Budget denn mitspielt. Es gibt noch weitere Faktoren, die das Produzieren in 4K und größerer Auflösung attraktiv erscheinen lassen. Auf einige Beispiele soll im Folgenden näher eingegangen werden.

6.1 Downscaling

Unter Begriffen wie „downscaling“ oder ugs. „downrezzing“ versteht man in der Kamerawelt das Herunterskalieren von Bildinhalten. Der Begriff „skalieren“ ist eventuell aus dem Bereich der Fotobearbeitung bekannt; man skaliert ein Foto hoch oder runter und ändert so die Bildgröße, wobei das Seitenverhältnis jedoch beibehalten wird. Das ist im Prinzip bei Videoinhalten nicht anders. Theoretisch lässt sich ein Bild so beliebig weit vergrößern oder verkleinern. Dass das aber nur bis zu einem bestimmten Maße Sinn macht, sollte einleuchten. Jeder, der schon einmal versucht hat, ein mit einer Handkamera aufgenommenes Foto auf großes Posterformat zu skalieren und dann von der Druckqualität enttäuscht war, kennt das Problem: Sobald die Auflösung für ein bestimmtes Format einfach nicht mehr ausreicht, erkennt unser Auge einzelne Bildpunkte. Das große Ganze ist nicht mehr richtig zu erkennen, und feine Details im Bild sucht man vergebens. Ein Handyfoto auf dem Handydisplay betrachtet, mag noch ganz ansehnlich erscheinen, aber schon auf einem mittelgroßen Computerdisplay betrachtet werden dann erste Schwächen deutlich. Man stelle sich also nur vor, wie dieses Bild dann auf einer riesigen Kinoleinwand vergrößert aussehen würde.

Ein anderes Beispiel sind die obligatorischen Internetvideos von Plattformen wie YouTube, die gelegentlich mangels anderer Quellen in die Berichte von Nachrichtensendungen zwischengeschnitten werden. Auch der Laie merkt sofort, dass die Bildqualität miserabel erscheint. Das liegt natürlich an der Bildkompression für das Internet, aber eben auch am Mangel an Auflösung: Ein Bildinhalt, der im Internet in 360p Auflösung vorliegt, kann im 720p Sendebild der öffentlich-rechtlichen Sender bildtechnisch nicht mit den übrigen Inhalten mithalten.

Beim Herunterskalieren von Bildgrößen sieht das schon deutlich anders aus. Oft wird in höherer Auflösung produziert, als es das Endprodukt vorgibt. So zeichnet man, um ein Beispiel zu nennen, mit der RED Epic etwa im Modus „4K HD“ auf, obwohl das Endprodukt bestenfalls in 1080p, wenn nicht gar in 720p vermarktet werden soll. Das Bild wird dadurch qualitativ besser, als wenn von vornherein in HD produziert worden

wäre, da Bildfehler wie das digitale Rauschen (engl. „Noise“) und Artefakte reduziert werden. Gleichzeitig erhält das Bild logischerweise mehr Details und Schärfe, da eben in feinerer Auflösung aufgezeichnet wurde: Dort, wo die Auflösung von Full HD einfach nicht mehr ausreicht, um feinste Details und Nuancen festzuhalten, greift die Detailtreue der 4K-Auflösung. Beim „Herunterskalieren“ in der Postproduktion werden diese „zusätzlichen“ Bildinformationen dann nicht einfach verworfen, sondern eben auf das Zielformat heruntergerechnet. So bleiben Details weitestgehend erhalten, die – hätte man direkt auf kleinerem Format aufgezeichnet – gar nicht erst erfasst worden wären.

Natürlich hängt die Qualität des herunterskalierten Bildes maßgeblich von den Algorithmen ab, die dabei eingesetzt werden. Es gibt etliche Softwareprodukte, die diese Aufgabe erfüllen können, aber nicht jedes erreicht ein gleich gutes Ergebnis. Den genauen Prozess des Downscaling hier zu beschreiben, würde an dieser Stelle zu weit führen. Von wesentlicher Bedeutung ist bei dem Prozess aber in jedem Fall, ob das Bild nur neu skaliert wird, oder ob zusätzlich das Seitenverhältnis geändert wird. Ist das der Fall, muss das Bild nämlich zusätzlich zum Skalieren noch neu „ausgerichtet“ werden – oder Bildinhalte müssen „abgeschnitten“ werden.

Angenommen, es wird im Format 4K aufgezeichnet (also mit 4096x2160 Bildpunkten im Seitenverhältnis 1.90:1) und das Endprodukt soll in Full HD (also mit 1920x1080 Bildpunkten im Seitenverhältnis 16:9) vorliegen. 2160 Pixel in der Höhe sind exakt das Doppelte von den 1080 Pixeln bei Full HD Auflösung, aber 4096 Pixel in der Breite sind genau 256 Pixel mehr als das zweifache von 1920 Pixeln. Das bedeutet, dass in der Full HD Version genau 128 Pixel (256:2) in der Vertikalen *zu viel* vorhanden sind, die somit weggeschnitten werden. Dabei wird dann natürlich die ursprüngliche Kadrierung des Bildes geändert; das kann insofern wünschenswert sein, als dass man das Bild noch etwas nach oben oder unten verschieben kann, und so die Kadrierung eventuell ästhetisch sogar verbessert (vgl. Kap. 6.2). Es kann aber auch die ursprüngliche Bildkomposition im wahrsten Sinne des Wortes *beschneiden*, denn immerhin nimmt man dem Bild fast zehn Prozent der vertikalen Auflösung.

Die RED Epic hat deshalb zusätzlich zum „normalen“ 4K-Modus noch den Modus „4K HD“. In dieser Einstellung wird ein 4K-Bild im Seitenverhältnis 16:9 aufgezeichnet, also mit 3840x2160 Bildpunkten. Das ist auf der vertikalen wie auf der horizontalen Ebene je exakt das Zweifache von Full HD und muss deshalb nicht beschnitten werden. Das Bild wird in der Postproduktion also einfach um das Vierfache verkleinert, wobei die Kadrierung erhalten bleibt und die Bildkomposition nicht verändert werden muss. Das spart viel Zeit, denn beim Zuschnitt des Bildes muss unter Umständen jede einzelne Einstellung in der Vertikalen neu ausgerichtet werden, um eine ästhetische Bildkomposition zu bewahren.

6.2 Neukadrierung durch das Plus an Auflösung

Der in Kap. 6.1 beschriebene Effekt des „Schiebens“ und Zuschneidens des Bildes kann natürlich noch viel effektiver genutzt werden, wenn das Bild im Vorhinein nicht herunterskaliert wird. So ist es z.B. durch die enorme Auflösung eines 5K-Bildes mit 5120x2700 Bildpunkten möglich, für ein Master in 1080p um ganze 400% digital ins Bild zu „zoomen“. Oft genügt heutzutage sogar eine Ausspielung in 720p, etwa fürs Web oder für die TV-Ausstrahlung. In dem Falle ließe sich ein 5K-Bild sogar um 673% vergrößern, ohne Qualitätseinbußen.

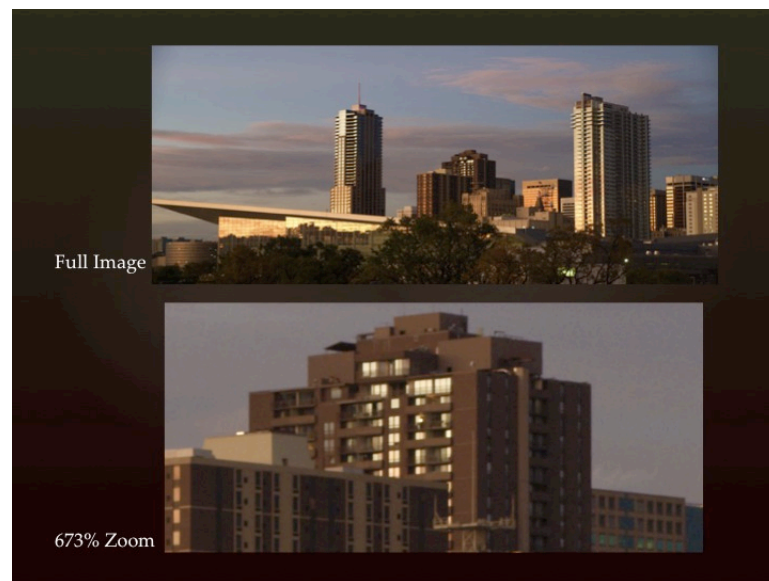


Abbildung 12: Oberes Bild 5K, unteres Bild 720p (673% reingezoomt).

Diese Methode bringt natürlich gerade für kleine Produktionen mit begrenztem Budget einen ungemeinen Vorteil: Die Prozesse beim Drehen lassen sich immens beschleunigen, wenn nicht für jedes Close Up eine neue Einstellung mit anderer Brennweite gedreht werden muss. Stattdessen wird eine weite Einstellung gedreht, und halbnah und nahe Einstellungen werden in der Postproduktion erstellt, indem das Bild soweit „aufgeblasen“ wird wie eben nötig. Das reduziert die Drehzeit enorm und schafft kaum Mehraufwand in der Postproduktion. Natürlich unterscheidet sich eine weitwinklige Aufnahme bildästhetisch von einer nahen Einstellung, die mit einer Telebrennweite gedreht wurde, aber hier muss zwischen Kosten und Nutzen abgewogen werden – und gerade wenn es sich um Produktionen mit eher niedrigem Budget handelt, wird in diesem Fall wohl der Kostenfaktor überwiegen.

6.3 Simulierte „Brennweiten“ durch unterschiedliche Auflösungsmodi

In der Praxis vielleicht weniger interessant, aber in der Theorie durchaus attraktiv ist die Möglichkeit, durch die verschiedenen Auflösungsmodi (wie bei der RED Epic z.B. 2K, 3K, 4K etc.) mit einer Festbrennweite verschiedene Brennweiten zu „simulieren“. Angenommen, es wird mit einer 50mm Brennweite gedreht (wobei 50mm Brennweite auf Full Frame gerechnet sind). Im Modus 5K ergibt sich ein Cropfactor²⁹ von 1.3x, d.h. der effektive Bildausschnitt entspricht dem eines 65mm Objektivs. Wenn man vom 5K nun in den 4K-Modus schaltet, verkleinert sich der Bildausschnitt. Es wird nun nämlich ein kleinerer Teil des Sensors ausgelesen, der von der Auflösung her 4K entspricht. Dabei wird immer die Mitte des Sensors ausgelesen; der Bildrand wird abgeschnitten. Im 4K-Modus wird dabei das 1.62-fache der Gesamtfläche abgeschnitten. Das bezeichnet man als „Cropfactor“. Im Klartext bedeutet das, dass vom Bild, welches das 50mm Objektiv ausleuchtet, nur ein kleiner Teil genutzt wird: nämlich in diesem Fall das 1.62-fache. Das entspricht vom Bildausschnitt her dann nahezu einer 80mm Brennweite (um genau zu sein: 81,2mm). Es ist dabei zu beachten, dass das 50mm Objektiv seine Brennweite nicht ändert. Es ist und bleibt ein 50mm Objektiv; es ändert sich nur der Bildwinkel, der dann der Brennweite von 80mm *entspricht*.³⁰

Natürlich haben unterschiedliche Brennweiten noch andere Charakteristika, als nur den unterschiedlichen Bildausschnitt. So besitzt ein Teleobjektiv (etwa ein 135mm) ein anderes Schärfe/Unschärfe-Verhalten als ein Weitwinkelobjektiv (etwa ein 16mm). Der enorme Nutzen des oben beschriebenen Verfahrens liegt aber auf der Hand: Wenn man die höhere Auflösung nicht gerade ihrer selbst wegen benötigt, so kann man sie dennoch nutzen, um mit einem kleinen „Besteck“ an Optiken eine Vielzahl von Brennweiten zu simulieren. Wird mit dem beispielhaften 50mm Objektiv im Modus 2K gedreht, entspricht der Bildausschnitt dem eines 160mm Objektivs ($50\text{mm} \times \text{Crop } 3.25 = 162,5\text{mm}$). Dieses Prinzip funktioniert natürlich am besten, wenn am Ende in kleinerer Auflösung gemastered wird. Es nützt wenig, den halben Film im Modus 2K zu drehen, um eine fehlende Tele-Brennweite zu simulieren, wenn im Nachhinein in 4K gemastered werden soll und man dann sämtliche 2K Einstellungen in der Postproduktion auf

²⁹ Cropfactor: Durch eine Verkleinerung des Aufnahmeformates wird das Bildfeld an allen Seiten beschnitten. Dadurch ändert sich der Bildwinkel, nicht jedoch die Brennweite.

³⁰ In diesem Zusammenhang wird häufig fälschlicherweise von „Brennweitenverlängerung“ gesprochen. Matthew Duclos von der Firma *Duclos Lenses* hat hierzu einen sehr informativen Artikel verfasst, der an dieser Stelle empfohlen sein soll. Duclos, Matthew: „A 50 is a 50 is a 50!“. URL:

<http://matthewduclos.wordpress.com/2009/11/03/a-50-is-a-50-is-a-50/>, Stand: 08.12.2013

4K „aufblasen“ muss. Trotzdem ist es gerade für niedrig budgetierte Produktionen eine gute Möglichkeit, mit wenigen Festbrennweiten trotzdem ein breites Spektrum an „simulierten“ Brennweiten nutzen zu können. Nichtsdestotrotz benötigt diese Methode natürlich enorm viel Vorbereitung und Planung, ebenso wie zusätzliche Arbeit in der Postproduktion. Hier gilt es dann, Nutzen und Aufwand abzuwägen; unter Umständen ist es dann doch sinnvoller, Geld für zusätzliche Brennweiten auszugeben, um dann in *einem* Auflösungsmodus zu drehen und sich den Mehraufwand in der Planung zu sparen.

Praktischer Nebeneffekt dieser Methode: Wenn nur der mittlere Teil des Sensors abgegriffen wird, verschwinden typische optische Fehler von Objektiven wie Vignettierung, Randunschärfe und Verzeichnung. Objektive liefern in der Bildmitte das bestmögliche Bild, an den Bildrändern hingegen werden oft optische Schwächen sichtbar.

6.4 Weniger Bildfehler

Ein recht offensichtlicher, aber nicht zu vernachlässigender Vorteil der hohen Auflösung von 4K (und größer) ist, wie in Kap. 5.1 schon angedeutet, die deutliche Reduzierung von technischen Bildfehlern. Artefakte oder Moiré existieren praktisch nicht mehr, während man bei Aufnahme in HD häufig damit zu kämpfen hat. Je nach Verwertung werden diese typischen Bildfehler dann mehr oder weniger verstärkt, abhängig davon, welche Komprimierung angewendet wird.

Moiré entsteht durch Rasterüberlagerung: wird ein Objekt mit besonders feinen Strukturen gefilmt, beispielsweise mit feinen Linien oder einem Karomuster, reicht unter Umständen die Auflösung des Kamerasensors nicht aus, um diese feinen Muster zu erfassen. Schuld daran ist der Bayer-Filter. Beim Debayering errechnet der Algorithmus die fehlenden Farbinformationen der benachbarten Pixel auf dem Sensor. Die Interpolation der unbekannten Farbanteile produziert dann Fehler, wenn das gefilmte Objekt feiner aufgelöst ist, als der Sensor es erfassen kann: Das gefürchtete Farbmoiré entsteht, und auf dem aufgezeichneten Bild entstehen neue Muster, die das ursprüngliche überlagern.

Bildfehler wie der angesprochene Moiré-Effekt sind bei Auflösungen jenseits von 4K allerdings nicht zu erwarten. Die immense Auflösung des Sensors bietet genug Reserven, um auch feinste Details darzustellen.

6.5 Green Screen und Special Effects

Auch für die digitale Nachbearbeitung ist die höhere Auflösung von großem Vorteil. Beim Keying etwa ist neben dem Farbumfang des Bildes auch die Auflösung von Bedeutung. Je feiner Konturen erfasst werden, desto genauer lässt sich in der Postproduktion „keyen“: Dabei werden bestimmte Bildinhalte durch andere ersetzt. Bekanntestes Beispiel ist der sog. „Greenscreen“. Dabei werden zunächst vor Grün Personen oder Objekte aufgenommen. Später werden diese Objekte oder Personen dann freigestellt und sämtliche Grünanteile im Bild werden durch eine Vorlage ersetzt. Das kann beispielsweise ein Foto oder auch eine Filmsequenz sein. So verbinden sich im Endeffekt der Vordergrund (Personen vor Grün) und der Hintergrund (Filmsequenz) zu einer neuen Szene, die in Wahrheit so nie stattgefunden hat. Für das Freistellen ist es wichtig, dass die Konturen der freizustellenden Objekte möglichst fein sind. Je besser sie aufgelöst sind, desto glaubwürdiger sieht das Resultat aus. Je höher die Sensorauflösung, desto besser gelingen auch schwierige Freistellungsarbeiten. Auch das RAW-Format mit dem zusätzlichen Farbspielraum hilft beim Keying, denn dadurch können Vorder- und Hintergrund farblich besser aneinander angepasst werden. Auch wenn 4K+ der Postproduktion also enorm hilfreich sein kann - die meisten Special Effects werden auch heute häufig noch in 2K gerendert, weil alles andere zu rechenintensiv wäre – und die Effekte in 2K anscheinend selbst für die große Leinwand genügen.

6.6 Eingeschränkte Objektivwahl bei 6K

Ein wichtiger Punkt, über den seit Ankündigung des Dragon-Sensors viel diskutiert wurde, ist der Bildkreis gängiger Kino-Optiken. Die meisten Objektive, die noch aus Filmzeiten stammen, sind optisch so gerechnet, dass sie ein 35mm Negativ ausleuchten können. Der Dragon-Sensor hingegen ist physisch viel größer als ein 35mm Negativ. Das bedeutet, dass viele 35mm Objektive den Sensor nicht vollständig belichten können und die Randbereiche vignettieren. Gerade weitwinklige Brennweiten bis 20mm vignettieren relativ früh und können im 6K-Modus nicht genutzt werden. Sie funktionieren nur bis etwa 5K. Das schränkt die Objektivwahl ein, wenn in 6K gedreht werden soll. Neuere (Foto-)Optiken, die auf das Vollformat gerechnet sind, decken den kompletten Sensor jedoch problemlos ab.

7 Zur aktuellen Marktlage

7.1 4K-Kameras sind Nischenprodukte

Laut dem Gründer der Firma *Atomos*, Jeromy Young, werden zwischen August 2013 und der NAB 2014, die im April 2014 stattfindet, noch mindestens 20 verschiedene 4K fähige Kameras verschiedener Hersteller auf den Markt kommen.³¹ Allerdings ist er ebenso überzeugt, dass es noch dauern wird, bis die hohe Auflösung HD vom Markt verdrängt hat: "We believe 4K is a niche area. We know that 90 percent of filmmakers are recording in HD today and will be for the next year or two."³²

Am 13. November 2013 veröffentlichte der Video-News-Blog *studiodaily.com* eine tabellarische Übersicht über alle bis dato erschienenen 4K-fähigen Kameras, inklusive der videofähigen DSLR *Canon EOS 1DC* und des Broadcast Camcorders *JVC GY-HMQ10*. An 4K-fähigen Kameras mit 35mm Sensor sind aber gerade einmal elf verschiedene Kameras von nur sechs Herstellern gelistet (vgl. S. 37, Abb. 12). Das ist, im Verhältnis zum schier unübersichtlichen Markt an Full HD Kameras, Camcordern und Rekordern, eine doch sehr überschaubare Anzahl.

Bevor sich die 4K Kameras wirklich bis in den Consumer Bereich durchsetzen werden, muss sich erst einmal eine geeignete Peripherie etabliert haben, um das 4K Material ohne größeren Aufwand abspielen zu können. Dazu gehören Monitore, Fernsehapparate, Rekorder und Player. Teilweise sind bereits entsprechende Geräte zu kaufen, aber überwiegend noch zu horrenden Preisen, die die neue Technik für die breite Masse (noch) nicht verfügbar machen.

³¹ vgl. Pennington, Adrian: "Market Readies for Flood of 4K Cameras". URL: <http://www.hollywoodreporter.com/behind-screen/market-readies-flood-4k-cameras-599612>, Stand: 07.01.2014

³² Pennington, Adrian: "Market Readies for Flood of 4K Cameras". URL: <http://www.hollywoodreporter.com/behind-screen/market-readies-flood-4k-cameras-599612>, Stand: 07.01.2014

Camera	Ship Date	Sensor size/resolution/type	Weight (w/o lens or docked recorder)	Lens	Max Image resolution	Max fps @ 4K	4K Raw Implementation	Audio Inputs	Compressed recording options	Recording media	Approx. Price
Astrodesign AH-4412	2012	Super 35 / 21.12 x 11.88mm / CMOS	4 lbs/1.8 kg	MFT mount	3840x2160	60	None	—	—	—	NA
Blackmagic Production Camera 4K	Dec-13	Super 35 / 21.12 x 11.88mm / CMOS	3 lbs 12 oz/1.7 kg	EF mount	3840x2160	30	Compressed CinemaDNG raw	Two balanced 1/4-inch line/mic jacks	Apple ProRes 422 (HQ)	Removable 2.5-inch SSD	\$8,995
Canon EOS C500	Oct-12	Super 35 / 23.6mm diagonal / 8.85Mpix / CMOS	4 lbs/1.8 kg	PL or EF mount	4096x2160	60	10-bit log raw via dual 3G SDI	Two balanced 3-pin XLR inputs	Up to CBR 422P@HL HD (50 Mbps)	Dual CF cards	\$23,000
Canon EOS-1D C	Dec-12	18.1Mpix / CMOS	3 lbs 6.5 oz/1.5 kg	EF mount	4096x2160	24	None	3.5mm stereo mini-jack	4:2:2 motion JPEG (500 Mbps)	Dual CF Cards	\$12,000
FOR-A FT-One	Sep-12	Super 35 / 8.8Mpix / CMOS	18 lbs 12 oz/8.5 kg	PL mount	4096x2160	900	10-bit raw DFX	—	—	SSD cartridges	\$135,000
GoPro Hero3+ Black Edition	Oct-13	12Mpix / CMOS	2.6 oz / .07kg	Fixed f/2.8 aspherical lens w/170-degree field of view	4096x2160	12	None	Optional 3.5mm stereo mic adapter via mini USB	H.264/MPEG4 (max 45 Mbps)	MicroSD (class 10+) card	\$999
JVC GY-HM30	Apr-12	1/2.3-inch / 8.3Mpix / CMOS	3.6 lbs/1.7 kg	Fixed f2.8 10x zoom	3840x2160	60	None	Two balanced 3-pin XLR inputs	1080i/1080p four-stream recording (144 Mbps [30Mbps/stream/card])	SDHC/SDXC card	\$4,995
JVC GY-HM300 (Japan only)	Aug-13	1.25 inch / 8.9Mpix / CMOS	4 lbs 3 oz/1.9 kg	Nikon F mount	3840x2160	60	None	Two balanced 3-pin XLR inputs	1080i/1080p four-stream recording (144 Mbps [30Mbps/stream/card])	SDHC/SDXC card	\$17,190
Point Grey Flex3	2013	1/2.5-inch / 8.8 Mpix / CMOS	1 ounce / .04 kg	C5 mount	4096x2160	21	8/12-/16-bit raw	—	—	Records to Windows PC via USB 3.0	\$895
Red Scarlet	Nov-11	Super 35 (13.46mm diagonal) / 13.8Mpix / CMOS	5 lbs/2.3 kg	EF mount	5120x2700	30	12-bit/16-bit Redcode Raw	Two mic-level/line-level 3.5mm mini-jacks (optional pro I/O module available)	Redcode Raw (compression ratio between 18:1 and 3:1); many more options TK with add-on Mecler Module	Redmag 1.8-inch SSD (dockable recorder)	\$7,950
Red Epic	Sep-11	Super 35 (13.46mm diagonal) / 13.8Mpix / CMOS	5 lbs/2.3 kg	PL mount	5120x2700	150	12-bit/16-bit Redcode Raw	Two mic-level/line-level 3.5mm mini-jacks (optional pro I/O module available)	Redcode Raw (compression ratio between 18:1 and 3:1); many more options TK with add-on Mecler Module	Redmag 1.8-inch SSD (dockable recorder)	\$17,500
Red Epic Dragon	Sep-13	Super 35 (13.46mm diagonal) / 13.8Mpix / CMOS	5 lbs/2.3 kg	Leica-M, Canon, Nikon, PL mounts	6144x3160	120	12-bit/16-bit Redcode Raw	Two mic-level/line-level 3.5mm mini-jacks (optional pro I/O module available)	Redcode Raw (compression ratio between 18:1 and 3:1); many more options TK with add-on Mecler Module	Redmag 1.8-inch SSD (dockable recorder)	\$29,000
Sony NEX-FS700 w/HXR-PRS interface unit	Jun-13	Super 35 / 11.6Mpix / CMOS	3 lbs 11 oz/1.7 kg	E-Mount	4096x2160	60 / 120 (in 4-second bursts)	16-bit linear raw	Two balanced 3-pin XLR inputs	AVCHD 4:2:0 (24 or 28 Mbps)	SD, SDHC, SDXC or Memory Stick Pro Duo (internal); AXSM cards for AXS-R5	\$10,200
Sony PMW-F5	Feb-13	Super 35 / 11.6Mpix / CMOS	4 lbs 14 oz/2.2 kg	F2 mount w/PL adapter included	4096x2160	60*	16-bit linear raw	Two balanced 3-pin XLR inputs	XDCAM 4:2:2 (50 Mbps); SR 4:2:2 (220 Mbps); up to 4K XAVC 4:2:2 (600 Mbps)	SxS Pro+ (internal); AXSM card (dockable recorder)	\$16,500
Sony PMW-F55	Feb-13	Super 35 / 11.6Mpix / CMOS	4 lbs 14 oz/2.2 kg	F2 mount w/PL adapter included	4096x2160	30	16-bit linear raw	Two balanced 3-pin XLR inputs	XDCAM 4:2:2 (50 Mbps); SR 4:2:2 (220 Mbps); up to 4K XAVC 4:2:2 (600 Mbps)	SxS Pro+ (internal); AXSM card (dockable recorder)	\$29,000
Sony PMW-F65	Jan-12	Super 35 / 17.7Mpix / CMOS	11 lbs/5.0 kg	PL mount	8192x4320	120	16-bit linear raw	None (Dockable SR-R4 recorder has XLR inputs)	12-bit 4:4:4 SR Codec (220Mbps - 880 Mbps)	SRMemory card (dockable recorder)	\$85,000
Sony PXW-Z100	Dec-13	1/2.3-inch / 8.8Mpix / CMOS	<7 lbs	Fixed 20x Sony G lens	4096x2160	60	N	Unknown	4K/QHD/HD (XAVC Intra 422 MXF); QFHD (XAVC Long) (mid 2014); HD (XAVC Long) (mid 2014)	Sony X series XCD memory cards (dual configuration)	\$5,500
Vision Research Phantom 65 Gold	Apr-06	Super 35 (13.7mm diagonal) / 10Mpix / CMOS	12.1 lbs/5.5 kg	Mamiya 645; options for Nikon F, PL, Hasselblad	4096x2440	150	14-bit linear raw	—	—	Internal RAM or CineMag	NA
Vision Research Phantom Flex4K	Dec-13	Super 35 (13.7mm diagonal) / 9.5Mpix / CMOS	14 lbs/6.3 kg	PL mount; options for Nikon F, Canon EF	4096x2304	1000	12-bit linear/10-bit packed cine raw	Available early 2014; details TBA	Available early 2014; formats TBA	Phantom CineMag IV	\$100,000

Information compiled November 2013

Light blue cells indicate cameras added since the previous version of this chart was published in November 2012.

Abbildung 13: StudioDaily veröffentlichte diese tabellarische Übersicht über alle aktuell verfügbaren 4K Kameras. (Stand: November 2013)

7.2 Abhängigkeit von Rekorder und Player

Es ist ein Teufelskreis: Um die Verkäufe von 4K Kameras anzukurbeln und sie so auch nach und nach in den Consumer-Bereich vordringen zu lassen, muss sich zunächst eine wiedergabefähige Peripherie im Alltag etabliert haben. Aber für diese Peripherie an Abspielgeräten müssen zunächst einmal Inhalte produziert werden, um einen Kaufanreiz zu schaffen. Erst wenn beides in ausreichendem Maße und zu erschwinglichen Preisen verfügbar ist, kann sich die neue Technik wirklich durchsetzen.

Im Folgenden soll ein grober Überblick über die zurzeit verfügbaren 4K Geräte gegeben werden.

Die „offizielle“ 4K-Auflösung beträgt 4096x2160 Pixel. Um das etablierte 16:9 Format von TV Geräten beibehalten zu können, stellen die 4K-TVs (oder Ultra HDTVs) aber

„nur“ 3840x2160 Pixel dar, also exakt das Vierfache an Pixeln von Full HD mit 1920x1080 Pixeln. Diese Auflösung wird „Ultra HD“ (kurz: UHD) genannt.

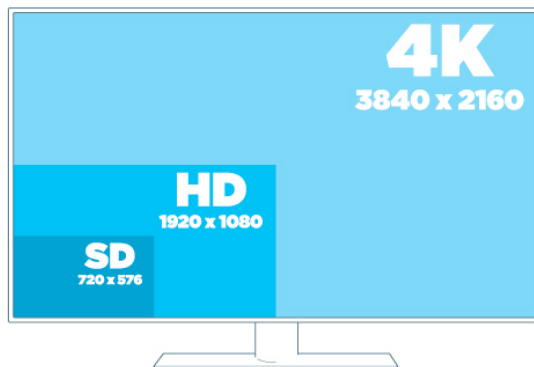


Abbildung 14: Schematische Darstellung verschiedener Auflösungsgrößen am Beispiel eines 4K TVs.

Während erste 4K TV Geräte schon zu kaufen sind, mangelt es derzeit noch an entsprechenden Abspielgeräten. Sony hat mit der Vorstellung seines Ultra-HD-Media-Players den ersten Schritt getan: Das Gerät kommt mit interner 2TB-Festplatte, auf der zehn 4K-Filme gespeichert sind. Weitere sollen später über Sonys hauseigenes Downloadnetzwerk namens „Sony Video Unlimited 4K“ gegen Bezahlung abrufbar sein. Ein kleines Manko: Das Gerät wird ausschließlich mit 2 TVs von Sony kompatibel sein. Auch Sonys PlayStation 4 setzt auf 4K: Die Wiedergabe von Filmen in Ultra-HD-Auflösung ist möglich, allerdings nur in „nativer“ 4K-Auflösung. Eine „Upscaling“-Funktion von beispielsweise HD-Material ist nicht integriert. Davon abgesehen ist auf mehreren einschlägigen Internetseiten zu lesen, dass Sony-Präsident Phil Molyneux zufolge ein Film in Ultra-HD-Auflösung etwa 100GB Speicherplatz benötigt.³³ Das ist eine weitere Hürde für die rasche Etablierung von 4K: Schnelles Internet ist zwar auf dem Vormarsch, aber zurzeit sind längst nicht alle Haushalte imstande, eine derart hohe Datenrate flüssig zu empfangen.

Auch der Hersteller RED hat einen 4K Player im Angebot, den „REDRAY“-Player. Er wird als „Professional 4K Cinema Player“ vermarktet. Das Gerät besitzt eine interne 1TB-Festplatte und gibt 4K Inhalte im hauseigenen RED Codec wieder, allerdings relativ stark komprimiert mit nur 2,5 MB/s. Der interne Speicher soll demzufolge rund 100 Stunden 4K-Inhalte speichern können. RED wirbt damit, dass der REDRAY-Player „die

³³ vgl. Hussain, Shak: „Size of 4K Movies Revealed: Won't Fit on Blu-ray“. URL: <http://www.gadgethit.com/2013/01/16/size-of-4k-movies-revealed-wont-fit-on-blu-ray>, Stand: 04.12.2013

einzig verfügbare Signalquelle mit 4K-Auflösung für Ultra-HD-Flachbildschirme und 4K-Projektoren³⁴ sei. Die größte Einschränkung des Geräts ist jedoch ganz offensichtlich das Videodateiformat. Das einzige unterstützte Format für 4K-Inhalte ist nämlich das *.RED*-Format, das REDs Kameras wie die Epic schreiben. HD-Inhalte lassen sich auch im *.MP4*-Format abspielen. Der Hersteller spricht von „internetbasierter Verbreitung [der Inhalte] zu Privatanutzern, Unternehmen oder ins örtliche Kino“³⁵. Wie genau das funktionieren soll, und mit welchen Inhalten – dazu findet man bislang keine genauen Informationen.

Das Problem ist ersichtlich: Bislang mangelt es an einem einheitlichen Distributionsnetzwerk und an offiziellen Spezifikationen. So etwas wie eine 4K Blu-ray Disc ist bis dato nicht auf dem Markt. Sony vermarktet zwar bereits „Mastered in 4K“-Blu-rays, aber diese liefern keinen „echten“ 4K Inhalt. Vielmehr sind es Filme, die in 4K gedreht und abgetastet, und anschließend auf 1080p runterskaliert wurden. Technisch möglich ist die „4K Blu-ray“ aber offenbar bereits: Im September 2013 kündigte die Firma *Singulus Technologies*, Hersteller von optischen CD-Kopieranlagen, eine Maschine namens „BLULINE III“ an, die imstande ist, triple-layer 100GB Blu-Rays zu replizieren. Eine offizielle Spezifikation steht aber nach wie vor aus, auch wenn die Blu-Ray Disc Association daran arbeitet.³⁶

³⁴ RED Digital Cinema: „*REDRAY*“. URL: <http://de.red.com/products/redray#tech-specs>, Stand: 11.01.2014

³⁵ RED Digital Cinema: „*REDRAY*“. URL: <http://de.red.com/products/redray#tech-specs>, Stand: 11.01.2014

³⁶ vgl. DIGITALFERNSEHEN: „*Blu-ray Disc Association plant die 4K Blu-ray*“. URL: <http://www.digitalfernsehen.de/Blu-ray-Disc-Association-plant-die-4K-Blu-ray.97416.0.html>, Stand: 14.12.2013

8 Fazit

Die Firma RED hat mit ihren Kameras zweifelsohne dazu beigetragen, dass Auflösungen jenseits von HD sowie RAW-Aufzeichnung erschwinglich werden. Zahlreiche große Hollywoodfilme wurden auf RED One und RED Epic gedreht³⁷; aber auch niedriger budgetierte Projekte hatten mit Erscheinen der RED One die Möglichkeit, bezahlbar in 4K zu drehen. Ende 2012 gab es die RED One MX sogar zum Preis von 4.000,- US-Dollar.³⁸ Solche Preise waren zu Filmzeiten für vergleichbare High-End-Filmkameras absolut undenkbar.

Durch RED wurde 4K bezahlbar, und natürlich zogen auch die etablierten Hersteller mit: Auch sie haben mittlerweile digitale 4K Kameras im Portfolio. Nach und nach erschienen nun von Konkurrenzfirmen wie ARRI (Alexa), Canon (C300, C500) und Sony (F5, F55) ebenfalls digitale High End Kinokameras, um der RED One MX Konkurrenz zu machen. Preislich kam jedoch keine der genannten Kameras an die RED One heran, weder im Anschaffungspreis noch in der durchschnittlichen Tagesmiete im Verleihgeschäft. Bei Erscheinen der RED Epic war 4K-Auflösung in der Spielfilm- und Werbeindustrie schon viel verbreiteter als 2010, zu Zeiten der RED One. Festhalten lässt sich, dass RED offensichtlich viel dafür getan hat, dass 4K+ und High End Kameras erschwinglich wurden.

Bemerkenswert ist aber nach wie vor, dass der am meisten Etablierte aller Hersteller, nämlich ARRI, auch Ende 2013 noch keine digitale 4K-Kamera im Angebot hatte. Das Topmodell, die ARRI Alexa zeichnet „nur“ eine Auflösung von 2K auf. Und auch die ARRI Amira, die neue Kamera von ARRI (Auslieferung gerüchteweise im ersten Quartal 2014³⁹), wird einen 2K-Sensor haben. Man kann aufgrund der Marktlage davon ausgehen, dass intern bereits an einer 4K-Kamera gearbeitet wird, aber bislang gibt es dazu keine konkreten Informationen.⁴⁰ De facto ist die ARRI Alexa zurzeit der Indust-

³⁷ vgl. RED Digital Cinema: „*Film, Fernsehen und Magazine – shot on RED Digital Cinema Kameras und Ausrüstung*“. URL: <http://de.red.com/shot-on-red>, Stand: 03.01.2014

³⁸ vgl. Marine, Joe: „*Time Running out to Buy a \$4,000 RED ONE MX, and RED Founder Jim Jannard May Call It Quits Soon*“. URL: <http://nofilmschool.com/2012/11/red-one-mx-jim-jannard-may-retire-soon>, Stand: 03.01.2014

³⁹ vgl. VMI.TV Camera Rental: „*The New ARRI AMIRA - coming in early 2014*“. URL: http://vmi.tv/training/useful-stuff/ARRI_AMIRA, Stand: 03.01.2014

⁴⁰ vgl. Pennington, Adrian: „*Arri's Managing Director: HD Is 'Dumbed Down' to Make 4K Look Good*“. URL: <http://www.hollywoodreporter.com/behind-screen/arris-managing-director-hd-is-578724>, Stand: 03.01.2014

riestandard was Serie und Werbung betrifft⁴¹ - anscheinend ist 4K für viele Projekte einfach noch „zu viel“.

RED vermittelt durch die Vorstellung ihres 6K-Sensors und diversen Statements zur Sachlage den Eindruck, dass 4K bereits überholt und die Branche eines besseren würdig sei. Dabei steckte die 4K-Auflösung auch 2013 noch in den Kinderschuhen und ist im Alltag noch längst nicht angekommen. Auch wenn bereits relativ viel in 4K produziert wird; die Endverwertung erfolgt meist in Full HD oder bestenfalls 2K.

Andererseits sind für 2014 schon viele 4K-fähige Geräte angekündigt, und auch große Streaming-Plattformen wie YouTube gaben bekannt, dass neue Codecs in Arbeit sind, die das Streamen von 4K Inhalten möglich machen sollen.⁴² Die Hersteller wissen natürlich um die Thematik und sind bemüht, die entsprechenden Geräte endlich auch im Consumer-Markt durchzusetzen. In den bekannten großen Elektronikmärkten findet man schon im Eingangsbereich häufig riesige Flachbildschirme jenseits von 80 Zoll, die potentielle Käufer mit Ultra-HD-Auflösung beeindrucken sollen. Dass mangels 4K-Bewegtmaterial dort oft nur hochauflösende Standbilder angezeigt werden, bemerken die meisten Kunden gar nicht. Dabei liegt genau hier eines der größten Hindernisse für den Absatz von derartigen Geräten: Es fehlt derzeit an Inhalten, die das Potential der Technik ausschöpfen würden.

8.1 4K kommt zu früh

Für viele Anwender kommt die Umstellung von HD zu 4K auch ganz einfach zu früh: Auch 2013 waren längst nicht alle Haushalte mit HDTVs ausgestattet, bzw. waren auch in der Lage, die Privatsender in HD zu empfangen. Viele empfangen und sehen auch heute noch SDTV, und sehen im HDTV keinen so großen Zugewinn, als dass sie bereit wären, sich dafür neue Empfangsgeräte anzuschaffen. Im Gegenteil: Anbieter „Kabel Deutschland“ kam Anfang 2013 in die Schlagzeilen, als bekannt wurde, dass der Netzbetreiber offenbar die Digitalsignale der öffentlich-rechtlichen Sender künstlich „ver-

⁴¹ vgl. Marine, Joe: „*ARRI Confirms Future 4K Camera, but Are They Developing It Reluctantly?*“. URL: <http://nofilmschool.com/2013/07/arri-confirms-4k-camera-development>, Stand: 06.01.2014

⁴² vgl. Ostermaier, Sascha: „*You Tube will 4K (UHD) mit neuem VP9 Codec streamen, viele Partner an Bord*“. URL: <http://stadt-bremerhaven.de/youtube-will-4k-uhd-mit-neuem-vp9-codec-streamen-viele-partner-an-bord>, Stand: 06.01.2014

schlechtert“, also mit niedrigerer Datenrate sendet, als es technisch möglich wäre.⁴³ Muss man dem Zuschauer etwa auf diesem Wege klar machen, dass er das „neue“ HDTV unbedingt braucht?

Dabei sollte man bedenken, dass die Umstellung zum (kostenpflichtigen) HD-Fernsehen erst Anfang 2010 begonnen hat. Und noch immer werden SD- und HD-Signale parallel gesendet. Kaum vorstellbar, dass die Sender in naher Zukunft plötzlich in 4K senden werden – und auch dem Endverbraucher wird nicht einleuchten, warum denn nun schon wieder neue Empfangsgeräte angeschafft werden müssen. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch eine kürzlich erschienene Studie über den Videokonsum via Internet: Demnach gaben 31 Prozent der Smartphone-Benutzer an, sich auf den winzigen Displays ihrer Handys komplette Spielfilme anzusehen.⁴⁴ Immerhin 27 Prozent würden auch regelmäßig TV-Shows auf dem Smartphone schauen. Dieses Ergebnis steht natürlich in absolutem Gegensatz zu der allgemeinen Annahme, die Bildschirme müssten immer größer und die Auflösung immer detailreicher werden. Natürlich darf man aufgrund dieser Studie nicht davon ausgehen, dass die Befragten das Smartphone dem heimischen HDTV vorziehen, wenn sie sich abends gemütlich einen Spielfilm ansehen wollen. Aber alleine der Fakt, dass Menschen bereit sind, sich *komplette* Spielfilme und/oder TV-Shows auf dem vergleichsweise winzigen Smartphone-Display anzuschauen, gibt in diesem Zusammenhang zu denken. Anscheinend zählt der Inhalt für viele eben doch mehr als die Darreichungsform.

8.2 Eine Frage der Zeit

Letztendlich ist es nur eine Frage der Zeit, bis die derzeitige HD-Auflösung abgelöst wird, das zeigt auch die Vergangenheit. Die VHS wurde durch die DVD abgelöst, die DVD wenig später von der Blu-ray Disc. Dabei ist die VHS-Kassette noch das langlebigste Medium; es gibt sie nach wie vor zu kaufen (seit 1976), doch die Verkaufszahlen⁴⁵ sind mittlerweile verschwindend gering, verglichen mit den DVD- und Blu-ray-Absätzen. Auffällig ist, dass die Entwicklungsabstände immer kürzer werden: Die VHS-Kassette wurde 1976 eingeführt; die DVD kam 1995 auf den Markt; die Blu-ray Disc

⁴³ vgl. heise online: „Kabel Deutschland beschneidet digitales öffentlich-rechtliches TV-Angebot“. URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Kabel-Deutschland-beschneidet-digitaless-oeffentlich-rechtliches-TV-Angebot-1778622.html>, Stand: 06.01.2014

⁴⁴ vgl. Bednarski, P.J.: „The Silver Screen Gets Small; Many of Us Watch Whole Movies on Smartphones“. URL: <http://www.mediapost.com/publications/article/216413/the-silver-screen-gets-small-many-of-us-watch-who.html>, Stand: 07.01.2014

⁴⁵ in Deutschland

wiederum schon im Jahr 2002. Es handelt sich letzten Endes um Technologie, und mit der Zeit lösen neue Technologien die alten ab - das gilt für fast alle technischen Bereiche.

Zusammenfassend ist es eindeutig, dass die 4K-Auflösung sich zunächst im professionellen Segment noch weiter durchsetzen wird, als dies ohnehin schon der Fall ist; und später wird es auch in den Consumer-Markt vordringen. Im Internet häufen sich in letzter Zeit die Meldungen zum Thema, und es hat den Anschein, als würde 2014 das Jahr von 4K werden: Neuproduktionen in 4K sind u.a. von Amazon und Netflix geplant⁴⁶, das Finale der Fussball-WM 2014 soll in 4K übertragen werden⁴⁷ und Panasonic kündigt für Februar 2014 eine 4K-fähige DSLR zum Preis für etwa 2000,- Dollar an⁴⁸.

Ein aktueller Artikel der ZEIT Online⁴⁹ beleuchtet einen bislang wenig beachteten Faktor der Technologieentwicklung, nämlich den riesigen Absatzmarkt in China. Dieser Markt ermöglicht es demnach den Herstellern, den Effekt der Produktionsvergünstigung durch einen Massenabsatz zu nutzen. Schon 2013 wurde der überwiegende Teil aller weltweit verkauften UHD-TVs in China abgesetzt; dieser Trend soll 2014 anhalten. Anscheinend sprechen die Konsumenten in China besser auf neue Technologien an, als beispielsweise in den USA oder Europa, denn hier spielt 4K im Heimkinobereich derzeit kaum eine Rolle. Die Hersteller prognostizieren anhand der chinesischen Verkaufszahlen natürlich einen ähnlichen Effekt für den weltweiten Markt.

Konträr zu diesen aktuellen Entwicklungen steht allerdings ein Statement vom Vorstandsmitglied von Sony, Kaz Hirai. Der gab kürzlich bekannt, dass man bei Sony nicht davon ausgehe, dass sich 4K/UHD auf dem Massenmarkt in naher Zukunft durchset-

⁴⁶ vgl. Lieberman, David: „Comcast, Netflix, Paramount, DirecTV And Amazon Will Stream 4K Video To Samsung TVs“. URL: <http://www.deadline.com/2014/01/ces-comcast-netflix-paramount-directv-and-amazon-will-stream-4k-video-to-samsung-tvs>, Stand: 12.01.2014

⁴⁷ vgl. Pennington, Adrian: „It's Official: FIFA World Cup Final Will Go 4K“. URL: <http://www.hollywoodreporter.com/behind-screen/s-official-fifa-world-cup-628911>, Stand: 12.01.2014

⁴⁸ vgl. Santos, Alexis: „Panasonic's next GH mirrorless camera will record 4K video, arrive late February for under \$2,000“. URL: <http://www.engadget.com/2014/01/07/panasonics-4k-mirrorless-gh-camera>, Stand: 12.01.2014

⁴⁹ vgl. Lee, Felix: „China bestimmt das Tempo auf dem Fernsehmarkt“. URL: <http://blog.zeit.de/china/2014/01/07/china-bestimmt-das-tempo-auf-dem-fernsehmarkt>, Stand: 12.01.2014

zen werde. Er rechnet damit, dass sich der Wechsel von HD hin zu 4K mindestens noch fünf bis sieben Jahre hinziehen werde.⁵⁰

Diese Widersprüchlichkeit ist wohl beispielhaft für das große Problem, das die Durchsetzung von 4K im Mainstream-Bereich bislang so erschwert. Es fehlt nach wie vor an einheitlichen Spezifikationen, es mangelt an in 4K produziertem Inhalt, die bisher verfügbaren Produkte sind für den Massenmarkt noch zu teuer. Aber all das sind Probleme, die anfänglich auch andere (mittlerweile etablierte) Innovationen aufgehalten haben. Die neue Auflösung wird mit ähnlichen Mitteln beworben, wie seinerzeit der Wechsel von SD zu HD, dabei sind die sichtbaren Unterschiede (bei korrektem Abstand vom Betrachter zum Monitor) aber sehr viel geringer. Der Sprung von SD zu HD hatte einen massiven Zugewinn an Bilddetails zu bieten, der auch am heimischen TV-Gerät eindeutig sichtbar war. Dieser Zugewinn an Details ist auch bei 4K da und sichtbar, um das zu erkennen muss der Betrachter jedoch viel näher an den Bildschirm ran, sonst reicht das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges ganz einfach nicht aus. Davon abgesehen kommt 4K wohl für den Großteil der Konsumenten einfach zu früh; kaum ist Full HD wirklich im Alltag etabliert, soll es schon wieder abgelöst werden.

⁵⁰ vgl. Topolsky, Joshua: „Sony CEO Kaz Hirai says cloud TV won't compete with cable, 4K adoption could take seven years“. URL: <http://www.theverge.com/2014/1/7/5285310/sony-ceo-kaz-hirai-says-cloud-tv-wont-compete-with-cable-4k-adoption>, Stand: 12.01.2014

Literaturverzeichnis

ARRI Group: „ALEXA FAQ“. URL:

http://www.arri.com/camera/digital_cameras/learn/alexa_faq, Stand: 08.01.2014

ARRI Media: „Workflow Alexa“. URL: <http://www.arrimedia.com/alexa/workflow>, Stand: 22.11.2013

BEDNARSKI, P.J.: „*The Silver Screen Gets Small; Many of Us Watch Whole Movies on Smartphones*“. URL: <http://www.mediapost.com/publications/article/216413/the-silver-screen-gets-small-many-of-us-watch-who.html>, Stand: 07.01.2014

Bundesverband Audiovisuelle Medien e.V.: „*Der starke Trend zu Video on Demand hält weiter an*“. URL: <http://bvv-medien.de/presse/pdf/pdf75.pdf>, Stand: 04.12.2013

DIGITALFERNSEHEN.DE: „*Blu-ray Disc Association plant die 4K Blu-ray*“. URL: <http://www.digitalfernsehen.de/Blu-ray-Disc-Association-plant-die-4K-Blu-ray.97416.0.html>, Stand: 14.12.2013

DUCLOS, Matthew: „*A 50 is a 50 is a 50!*“. URL:

<http://matthewduclos.wordpress.com/2009/11/03/a-50-is-a-50-is-a-50>, Stand: 08.12.2013

FRAZER, Bryant: „*4K Cameras: What's the State of the Art in 2013?*“. URL:

<http://www.studiodaily.com/2013/11/4k-cameras-whats-the-state-of-the-art-in-2013>, Stand: 05.01.2014

FREEDMAN, David H.: „*Innovative Rebel: High-Tech Camera Maker Jim Jannard*“.

URL: <http://www.inc.com/magazine/201305/david-h-freedman/jim-jannard-and-the-red-camera-rebels.html>, Stand: 07.01.2014

GARDINER, James: „*Red camera, nothing but hype*“. URL:

<http://www.crafted.com.au/blog/2008/11/25/red-camera-nothing-but-hype>, Stand: 04.12.2013

heise online: „*Kabel Deutschland beschneidet digitales öffentlich-rechtliches TV-Angebot*“. URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Kabel-Deutschland-beschneidet-digitales-oeffentlich-rechtliches-TV-Angebot-1778622.html>, Stand: 06.01.2014

HUSSAIN, Shak: „*Size of 4K Movies Revealed: Won't Fit on Blu-ray*“. URL: <http://www.gadgethit.com/2013/01/16/size-of-4k-movies-revealed-wont-fit-on-blu-ray>, Stand: 04.12.2013

JANNARD, Jim: „*4K?*“. URL: <http://www.reduser.net/forum/showthread.php?98130-4K>, Stand: 11.12.2013

JANNARD, Jim: „*Everything changes... IMPORTANT post*“. URL: <http://www.reduser.net/forum/showthread.php?87757-Everything-changes-IMPORTANT-post>, Stand: 04.12.2013

JANNARD, Jim: „*Philosophy change...*“. URL: <http://reduser.net/forum/showthread.php?62908-Philosophy-change>, Stand: 08.12.2013

LEE, Felix: „*China bestimmt das Tempo auf dem Fernsehmarkt*“. URL: <http://blog.zeit.de/china/2014/01/07/china-bestimmt-das-tempo-auf-dem-fernsehmarkt>, Stand: 12.01.2014

LIEBERMAN, David: „*Comcast, Netflix, Paramount, DirecTV And Amazon Will Stream 4K Video To Samsung TVs*“. URL: <http://www.deadline.com/2014/01/ces-comcast-netflix-paramount-directv-and-amazon-will-stream-4k-video-to-samsung-tvs>, Stand: 12.01.2014

MARINE, Joe: „*ARRI Confirms Future 4K Camera, but Are They Developing It Reluctantly?*“. URL: <http://nofilmschool.com/2013/07/arri-confirms-4k-camera-development>, Stand: 06.01.2014

MARINE, Joe: „*Time Running out to Buy a \$4,000 RED ONE MX, and RED Founder Jim Jannard May Call It Quits Soon*“. URL: <http://nofilmschool.com/2012/11/red-one-mx-jim-jannard-may-retire-soon>, Stand: 03.01.2014

OSTERMAIER, Sascha: „*YouTube will 4K (UHD) mit neuem VP9 Codec streamen, viele Partner an Bord*“. URL: <http://stadt-bremerhaven.de/youtube-will-4k-uhd-mit-neuem-vp9-codec-streamen-viele-partner-an-bord>, Stand: 06.01.2014

PENNINGTON, Adrian: „*Arri's Managing Director: HD Is 'Dumbed Down' to Make 4K Look Good*“. URL: <http://www.hollywoodreporter.com/behind-screen/arris-managing-director-hd-is-578724>, Stand: 03.01.2014

PENNINGTON, Adrian: *“Market Readies for Flood of 4K Cameras”*. URL: <http://www.hollywoodreporter.com/behind-screen/market-readies-flood-4k-cameras-599612>, Stand: 07.01.2014

PENNINGTON, Adrian: *„It’s Official: FIFA World Cup Final Will Go 4K“*. URL: <http://www.hollywoodreporter.com/behind-screen/s-official-fifa-world-cup-628911>, Stand: 12.01.2014

PS4DAILY: *„Sony comments on 4K gaming on Playstation 4“*. URL: <http://ps4daily.com/2013/04/4k-gaming-on-playstation-4/>, Stand: 04.12.2013

RED Digital Cinema: *„Film, Fernsehen und Magazine – shot on RED Digital Cinema Kameras und Ausrüstung“*. URL: <http://de.red.com/shot-on-red>, Stand: 03.01.2014

RED Digital Cinema: *„NAB: The DRAGON Upgrade Station“*. URL: <http://www.red.com/news/nab-the-dragon-upgrade-station>, Stand: 11.11.2013

RED Digital Cinema: *„Overview of the REDCODE File Format“*. URL: <http://www.red.com/learn/red-101/redcode-file-format>, Stand: 05.12.2013

RED Digital Cinema: *„REDRAY“*. URL: <http://de.red.com/products/redray>, Stand: 11.01.2014

RED Digital Cinema: *“The History of RED Digital Cinema”*. URL: <http://www.red.com/history>, Stand: 22.10.2013

RED Digital Cinema store (DE): *„EPIC-M RED DRAGON W/ SIDE SSD AND LENS MOUNT“*. URL: <http://de.red.com/store/products/epic-m-red-dragon-w-side-ssd-and-lens-mount>, Stand: 21.12.2013

SANTOS, Alexis: *„Panasonic’s next GH mirrorless camera will record 4K video, arrive late February for under \$2,000“*. URL: <http://www.engadget.com/2014/01/07/panasonics-4k-mirrorless-gh-camera>, Stand: 12.01.2014

slashCAM: *„Über 40% der Filme in Cannes mit ARRI ALEXA gefilmt“*. URL: <http://www.slashcam.de/news/kurz/Ueber-40--der-Filme-in-Cannes-mit-ARRI-ALEXA-gefilm-87.html>, Stand 02.11.2013

Sony US: *„XBR Series 4K Ultra HD TVs“*. URL: <http://store.sony.com/xbr-series-4k-ultra-hd-tvs/cat-27-catid-All-XBR-Series-TVs>, Stand: 29.12.2013

Sony Electronics Inc.: „*Does 4K really make a difference?*“. URL:
http://pro.sony.com/bbsccms/static/files/mkt/digitalcinema/Why_4K_WP_Final.pdf,
Stand: 18.11.2013

TOPOLSKY, Joshua: „*Sony CEO Kaz Hirai says cloud TV won't compete with cable, 4K adoption could take seven years*“. URL:
<http://www.theverge.com/2014/1/7/5285310/sony-ceo-kaz-hirai-says-cloud-tv-wont-compete-with-cable-4k-adoption>, Stand: 12.01.2014

VMI.TV Camera Rental: „*The New ARRI AMIRA - coming in early 2014*“. URL:
http://vmi.tv/training/useful-stuff/ARRI_AMIRA, Stand: 03.01.2014

Quellenangaben der Abbildungen

Abbildung 1: Aufnahme eines Prototyps vom RED Dragon Sensor

URL: <http://nofilmschool.com/wp-content/uploads/2013/02/RED-Dragon-6K-1080p-Outline-616x307.jpg>,
Stand: 02.11.2013

Abbildung 2: Firmenlogo des Herstellers „RED DIGITAL CINEMA COMPANY“

URL: http://www.adcdigital.com/wp-content/uploads/2012/02/Master-RED_PROFESSIONAL.jpg, Stand:
04.11.2013

Abbildung 3: Eine „drehfertige“ Red One

URL: <http://bigshotrentals.com/wp-content/uploads/2012/11/Red1.png>, Stand: 04.12.2013

Abbildung 4: „Brain“ der Red Epic-X mit Mysterium-X Sensor

URL: <http://www.fredmiranda.com/forum/ufiles/60/591060.jpg>, Stand: 08.12.2013

Abbildung 5: Das modulare DSMC System der RED Epic

URL: <http://www.photoscala.de/grafik/2008/RED-04.jpg>, Stand: 11.12.2013

Abbildung 6: RED Dragon Upgrade auf der NAB 2013

URL: https://s3.amazonaws.com/red_3/uploads/asset_image/image/5164658417ef0206f6000120/dragon-burn-640.png, Stand: 11.11.2013

Abbildung 7: Vergleich verschiedener Sensorgrößen

URL: http://cyp.com/images/uploaded/sensor_table.gif, Stand: 09.11.2013

Abbildung 8: Schematische Darstellung des „Bayer“ Farbfilters auf dem Sensor

URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bayer_pattern_on_sensor.svg, Stand: 22.12.2013

Abbildung 9: Der Blendenumfang des Dragon-Sensors

URL: <http://fstoppers.com/wp-content/uploads/2013/09/fstoppers-red-dragon-latitude-710x326.jpg>, Stand:
22.11.2013

Abbildung 10: 4K-Projektion bietet exakt das Vierfache an Pixeln von 2K

Entnommen aus PDF von Sony Electronics Inc.: „Does 4K really make a difference?“. URL:
http://pro.sony.com/bbsccms/static/files/mkt/digitalcinema/Why_4K_WP_Final.pdf, Stand: 18.11.2013

Abbildung 11: 2K-Projektion im Kino

Entnommen aus PDF von Sony Electronics Inc.: „Does 4K really make a difference?“. URL:
http://pro.sony.com/bbsccms/static/files/mkt/digitalcinema/Why_4K_WP_Final.pdf, Stand: 18.11.2013

Abbildung 12: 720p Ausschnittsvergrößerung aus 5K Bild

URL: <http://www.5kinsight.com/wp-content/uploads/2011/10/blowup5k.jpg>, Stand: 07.12.2013

Abbildung 13: Tabellarische Übersicht verfügbarer 4K-Kameras (11/2013)

URL: <http://cdn.studiodaily.com/wp-content/uploads/2013/11/4k-cameras-2013.png>, Stand: 05.01.2014

Abbildung 14: Auflösungsgrößen am Beispiel eines 4K TVs

URL: <http://www.whathifi.com/sites/whathifi.com/files/images/2013/July/4Kdiagram.jpg>, Stand: 29.12.2013

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hamburg, 19.01.2014 Matthias [Signature]

Ort, Datum Vorname Nachname